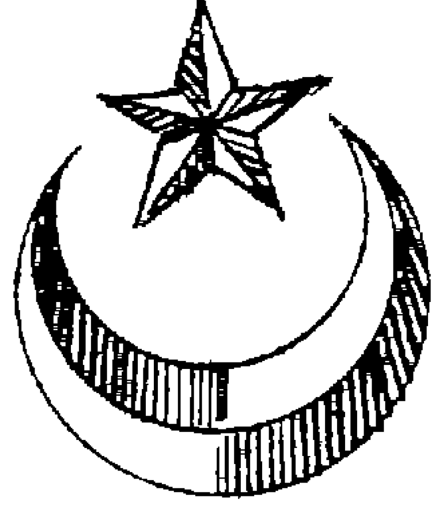


دروس
مقاومة المواد

الجارى تدريسها لتلامذة السنة الثانية من مدرسة المهندسخانة الخديوية

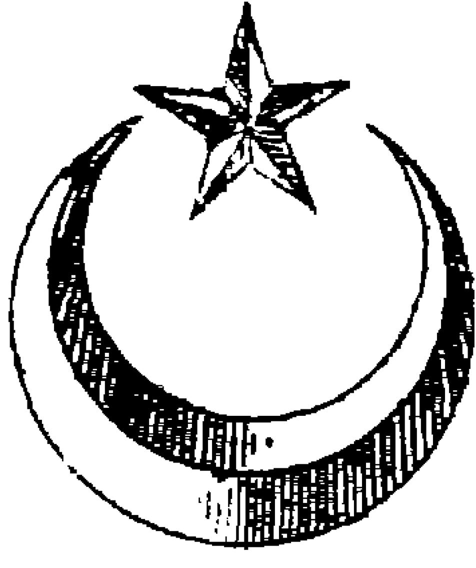
بمعرفة

حضرة احمد بك ذهنى

ناظر المدرسة

على حسب الجداول التفصيليه للعلوم الجارى تدريسها بمدرسة المهندسخانة الخديوية الصادر عليها قرار نظارة المعارف العمومية فى ٣٠ اغسطس سنة ١٨٩٤ المجعولة ذيلا لقانون المدرسة المذكورة المصدق عليه من مجلس النظار فى ٨ يونيه سنة ١٨٩٤

طبع
فى مدرسة المهندسخانة الخديويه بسراى درب الجماميز سنة ١٨٩٦ افرنكيه



بسم الله الرحمن الرحيم

علم مقاومة المواد

تعاريف أولية

الغرض من علم مقاومة المواد تعيين الابعاد اللازم اعطاؤها للقطع المختلفة التي تتركب منها الآلات أو الانشاآت الثابتة كي يمكنها تأدية الغرض المقصود منها في الجملة المادية التي تكون تلك القطع من ضمنها

المواد الداخلة في الانشاآت تنحصر على العموم في قسم الأجسام الصلبة

والجسم الصلب هو الذي يحدث مقاومة محسوسة للتغيرات التي يراد احداثها له

والجسم المائع أو الغازي يحدث مقاومة ظاهرة للتغيرات التي نتيجتها تقليل الحجم الكلي المشغول بهذا الجسم الا أن تغيرات الشكل غير المصحوبة بتغيرات الحجم يمكن حصولها بدون قوة وعلى الاقل بقوة غير محسوسة

وبعض الأجسام تشابه الاجسام الصلبة بالنظر لبعض التغيرات المخصوصة مع كونها لاتحدث سوى مقاومة غير محسوسة للتغيرات الاخرى فالخيط مثلا يمكن انحناؤه بدون قوة ولا يستطيل بدون شغل والمنسوج مثلا يقاوم التغيرات التي تميل لاستطالة احدى جملتي الخيوط المركبتين له ويبقى منثنيا بدون مقاومة

المرونة — قد يتصور ان جميع الاجسام الطبيعية سواء كانت صلبة أو مائعة أو غازية مكونة من عناصر صغيرة جدا منفصل بعضها عن بعض بمسافات مقدارها مناسب الى مقادير هذه العناصر وأن تلك العناصر يؤثر بعضها على بعض بحسب مقاديرها وأن هذه التأثيرات تختلف أيضا بحسب المسافات الكائنة بين هذه العناصر وبعضها وأنها تكون في اتجاهات المستقيمات الواصلة بين تلك العناصر مثنى فكل عنصر من الأجسام الصلبة خصوصا له وضع مخصوص بالنسبة لباقي العناصر لايمكنه ان يتحرك بدون قوة كبيرة كانت أو صغيرة أما في السوائل فالأمر بالعكس يعني ان العناصر لها الحرية المطلقة تقريبا في دورانها حول بعضها أو في تدحرج بعضها على بعض بدون احتكاك محسوس

ومتى أوقع على جملة نقط مختلفة من جسم صلب قوى خارجية متزنة فأن توازن التأثيرات الواقعة من العناصر

بعضها

بعضها على بعض يختل ويحصل تغير في شكل الجسم المذكور وهذا التغير يحدث اختلافا في أبعاد العناصر بعضها عن بعض وفي شدد واتجاهات التأثيرات الداخلية وحينئذ فيحصل التوازن بالتغير المذكور بين القوى الداخلة والقوى الخارجة وعلى هذا اذا حصل تغيير في شكل الجسم وحذفت القوى الخارجة التي احدثته فأن التغيير المذكور لا يبقى مستمرا على العموم والجسم يميل للعود لشكله الاصلي وفي هذه الحالة فأن العناصر في حركتها القهقرية تأخذ سرعها التي كانت سببا في تجاوز أوضاع توازنها الطبيعية والتي لابد أن تأخذها نظريا وبقطع النظر عن المقاومات المختلفة الملازمة لتلك العناصر فأنها ترتج حول تلك الاوضاع ارتجاجا صغيرا جدا وحينئذ فميل الجسم المتغير الشكل للرجوع الى شكله الطبيعي هو ما يسمى بمرونة المادة وبالنظر للمرونة يوجد اختلاف عظيم بين الأجسام الصلبة المختلفة

فالاجسام التامة المرونة اذا تغير شكلها بسبب ما فأنها تعود الى شكلها الطبيعي تماما متى امتنع ذلك السبب والاجسام التامة الرخاوة اي التي ليس لها مرونة بالكلية متى تركت ونفسها بعد حصول تغير حيثما اتفق فيها فأنها تبقى على حالتها الأخيرة ولا تظهر أدنى ميل للرجوع نحو شكلها الأصلي

وهذه الأجسام تكون في بعض الأعتبارات متوسطة بين الاجسام الصلبة والأجسام السائلة (أي المائعة والغازية)

وأما الاجسام التامة الصلابة التي تعتبر أنها عديمة المرونة فأنها اجسام هندسية محضة وليس لها وجود في الحقيقة أو أنها اجسام صلبة قوية جدا بالنسبة لغيرها وعلى هذا فلا يعتبر في التطبيقات سوى نوعين نهائيين من الأجسام الصلبة وهي الاجسام الرخوة والأجسام المرنة

وفي الحقيقة أن الأجسام الصلبة المستعملة في العمل ليست تامة الرخاوة ولا تامة المرونة بل أنها تنحصر بين هذين النوعين النهائيين

ومرونة المادة تختلف من جسم الى آخر فتكون كبيرة جدا وتامة تقريبا في بعض منها وصغيرة جدا ومعدومة تقريبا في بعض آخر ومتوسطة في أغلبها

ومتى قيل ان معامل المرونة ثابت بالنسبة لمادة معلومة يكون المقصود من ذلك مادة متجانسة حافظة لشروطها الطبيعية وفي الحقيقة ان معامل مرونة المواد كالحديد مثلا يختلف بحسب التركيب العنصري ودرجة الحرارة لكل نوع منه

ومع ذلك فأن تلك التغيرات قليلة الأهمية بحيث يمكن اهمالها في العمل واتخاذ معامل متوسط للمرونة ومتى كانت قوى الشد ضعيفة ولم تجاوز تلك القوى التي تحدث الكسر فأن الاستطالات تتغير بحسب الاحمال ولا تكون مستديمة ابدا وتنمحي بمجرد محو الأحمال المحدثة لها وتعود المنشورات المشدودة الى طولها الأصلي

والحديد لا يحصل له استطالة مستديمة الا اذا وصلت قوة الشد الى نصف حمل الكسر وحيث انه غير جار في العمل تشغيل الحديد بثلث حمل الكسر مطلقا فلا يخشى عليه من الاستطالة المستديمة ويمكن دائما ان تطبق عليه

القوانين البسيطة للشد

وليلاحظ ان الاستطالة المنسوبة للشد تكون دائما مصحوبة بنقص في القطاع العرضي وبازدياد في الحجم وأهمية هاتين الحادثتين ثانوية ومن النادر الاشتغال بهما

ومدة الشد لها تأثير على الاستطالة اذ أنها تزداد شيئا فشيئا مع الزمن وتميل نحو نهاية معينة بالنسبة لحمل معلوم ولا يجب حينئذ صرف النظر عن هذه الحالة في الانشاآت

نهاية المرونة – متى كان تغيير شكل الجسم الصلب قليلا جدا فان الجسم يعتبر تقريبا كجسم تام المرونة بمعنى انه بعد حذف القوى التي احدثت له هذا التغير القليل يعود الى شكله الطبيعي تماما

ونهاية المرونة هي النهاية العظمى للقوى التي يمكن وقوعها على جسم صلب بدون ان تحدث فيه تغيير مستديم فمتى كانت القوى المؤثرة على جسم أقل من هذه النهاية فالتغيرات الحادثة تمحى واذا كانت اكبر من تلك النهاية فالتغيرات لا تمحى الا قليلا او لا تمحى قطعا

ونهاية المرونة توصل الى طريقة أخرى لتعريف الأجسام الرخوة والأجسام المرنة فالجسم الرخو هو الذي نهاية مرونته معدومة كلية والجسم المرن هو الذي نهاية مرونته كبيرة جدا

وقد يمكن تعيين نهاية مرونة جسم بقوة معينة فمثلا اذا أريد تعيين نهاية مرونة ساق معدني متأثر بقوة شد يلزم بناء على التعريف أن ترصد استطالات الساق المذكور بتأثير جملة اثقال مختلفة يجرى ايقاعها عليه على التوالي بحذف الثقل في كل دفعة ويعوض باكبر منه ثم يعين كل من الثقل والاستطالة اللذين فيهما يحفظ الساق المذكور استطالته وحينئذ فالثقل الذي قبل هذا يكون هو مقدار النهاية المطلوبة

التبدد أو الكسر – متى أثر على جسم بأن أوقع عليه قوى تميل لانضغاطه أو لاستطالته أو لانحنائه وصار ازدياد تلك القوى بلا نهاية فتجاوز هذه القوى نهاية المرونة ويصير التغير ظاهرا شيئا فشيئا وأخيرا يحصل التبدد أو الكسر

وهذه الحادثة التي هي متغيرة كثيرا تظهر للعيان التركيب الداخلي للجسم الواقع عليه التجربة فتارة يكون تركيب الجسم حبيبيا وتارة يكون ليفيا وتارة يكون بلوريا وتارة يتجزأ الى قطع شكلها هندسي ثم ان حالة الكسر تتغير بحسب الشد أو الضغط أو الانحناء (الانثناء)

وطريقة حصول الكسر تختلف من جسم الى آخر وبحسب الجسم الواحد تختلف من اتجاه الى آخر فالخشب يمكن تشريحه بالبلطة بسهولة جدا في اتجاه الالياف بخلاف ما اذا اريد قطعه عموديا على اتجاه الالياف فالأحسن استعمال المنشار والحديد يقطع على البارد بالازميل ويثقب بالمثقاب الا أن شغل المثقاب يحدث استطالة خفيفة في القطعة المثقوبة بخلاف الثقب بواسطة البرية فأنه لا يحدث هذا التأثير

وكل نوع من الحجر يجب تشغيله بالعدد الخاصة به فحجر الجرانيت مثلا يحتاج عدة خلاف العدة التي يحتاجها الحجر الجيري وبالجملة فطرق الكسر تهم المنشئين في أمرين

الأول – بالنظر لشغل المواد خشبية كانت أو معدنية أو حجرية التي يقتضي قطعها أو نحتها أو تصليحها أو تجزيئها الى قطع

والثاني

والثانى – للاستدلال على خواص المادة من المكسر (المقطع) يقتضى كسر جملة انواع تؤخذ بالصدفة من بعة حديد مثلا للتأكد من أن الحديد المذكور موفٍ للشروط المأخوذة على المتعهد وأما من جهة متانة المواد المكونة لمشيد فيلزم ان تكون قوية على الدوام تحت تأثير الأحمال حيث أن الأحمال المذكورة أقل من نهاية المرونة

القطع المنشورية – القطع المختلفة التى تدخل فى تركيب مشيد معدنى أو خشبى تشابه غالبا المنشورات القائمة المعروفة فى الهندسة العادية ويزاد عليها فقط ان لها على العموم مستوى تماثل يحصل فيه وقوع القوى التى يجب ان يتحملها الانشاء لكن تحتاج أحيانا لأن تكون جميع اجزاء القطعة الواحدة ذات مقاومة متساوية فيتغير من نقطة الى أخرى شكل وابعاد القطاع وحينئذ فالجسم المتحصل فى هذه الحالة لايكون منشورا هندسيا ومع ذلك يستمر فى التسمية المذكورة للدلالة على جسم بهذا الشكل فيطلق اسم منشور على كل قطعة مستقيمة أو منحنية انحناء خفيفا ابعادها العرضية صغيرة بالنسبة لطولها سواء كان قطاعها ثابتا أو متغيرا من احدى طرفى القطعة الى الطرف الآخر

انواع الأحمال التى تعرض لها الأجسام فى الانشاآت

انواع الأحمال التى تعرض لها الاجسام فى الانشاآت هى احمال الشد والضغط والقص أى القطع أو الانزلاق العرضى والانثناء أى الانحناء والالتواء فحمل الشد يميل لتطويل القطعة كحالة القطعة المثبتة من أعلى ومعلق فى طرفها الأسفل ثقل

وحمل الضغط يميل لتقصيرها اى عكس حمل الشد كحالة قائم منبت من أسفل وموضوع عليه ثقل من أعلاه

وحمل القص أو القطع يميل الى قطع القطعة فى اتجاه احد مستوياتها العرضية بحيث تنقسم الى قسمين يزلق أحدهما على الآخر فى مستوى القطاع العرضى الذى حصل فيه القطع كحالة قطعة منشورية متأثرة بقوتين متوازيتين مختلفتى الجهة ومتوازيتين لقطاع عرضى للقطعة المذكورة محصور بينهما

وحمل الانثناء أو الانحناء يميل الى انثناء القطع الموضوعة افقية على حاملين أو مثبتة افقيا من أحد طرفيها كحالة قضيب مرتكز افقيا على حاملين ويحمل بثقل

وحمل الالتواء يميل الى التواء القطع التى تكون دائرة حول محورها ومجبورة على الدوران الى الجهة العكسية كحالة اسطوانة الملفاف الذى يدور فى جهة بسبب القوة ويميل الى الدوران فى الجهة العكسية بسبب المقاومة وعلى العموم فالجسم لايكون متأثرا على الدوام بأحد هذه الاحمال البسيطة بل يمكن ان يتأثر باثنين منها معاً أو أكثر أعنى قد يكون الجسم متأثرا بحمل انحناء والتواء معا ويحصل له تغيير مركب يحتاج للبحث عن الحركات الجزئية للعناصر فى كل من التغييرين الأصليين

فى الشد

قد نتج من التجارب

أولا ان الاستطالة ل لقضيب منشورى تناسب لطوله ل

ثانيا انها تناسب أيضا للقوة د المؤثرة فى اتجاه محوره

ثالثا   انها تناسب عكسا للقطاع العرضي ب للقضيب المذكور

رابعا   انها تناسب عكسا للعامل والمسمى بمعامل المرونة الطولية وهذا المعامل خاص بكل مادة على حدتها وبه تعرف حالة المادة من جهة الشد أو الاستطالة

وحينئذ قوانين الشد تحصر في الارتباط الآتي

$$ل' = \frac{ل ح}{ب و}$$

ويمكن وضع هذا الارتباط على هذه الصورة البسيطة

$$و = \frac{ح}{ب} \div \frac{ل'}{ل} = \frac{ح'}{ى}$$

بفرض أن $\frac{ح}{ب} = ح'$ ، $\frac{ل'}{ل} = ى$

ويمكن ان يتلفظ بالارتباط المذكور هكذا

ان معامل المرونة هو النسبة الثابتة الكائنة بين الحمل المنسوب للوحدة السطحية المساوى لخارج قسمة الحمل الكلي على مساحة القطاع وبين الاستطالة المنسوبة للوحدة الطولية المساوية لخارج قسمة الاستطالة الكلية على الطول الاصلي التي تسمى بالاستطالة النسبية

ومعامل المرونة عبارة أيضا عن مقدار حمل الشد الوهمي الذي يضاعف طول الساق الذي قطاعه الوحدة السطحية أو هو عبارة عن مقدار حمل الضغط الوهمي الذي يمحي طول الساق المذكور

وحينئذ من الارتباط السابق يحدث

$$ى = \frac{ح'}{و} \text{ ، } ح' = و ى$$

أعني ان الاستطالة النسبية تساوي خارج قسمة الحمل المنسوب للوحدة السطحية على معامل المرونة وأن الحمل المنسوب للوحدة السطحية يساوي حاصل ضرب الاستطالة النسبية في معامل المرونة الذي يسمى أيضا بمعدل المرونة

والاستطالة الكلية التي تمحى بمجرد حذف الحمل الواقع على القطعة في اتجاه محورها تسمى بالاستطالة المرنة والاستطالة التي توجد بعد حذف الحمل الواقع على القطعة في اتجاه محورها تسمى بالاستطالة المستديمة

وهاك جدولا مشتملا على معاملات المرونة لمواد مختلفة مأخوذة أسفل نهاية المرونة

حديد مطروق	٢٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ ... أو ٢٫٠٠ × (١٠)^١٠
سلك حديد	١٫٨ × (١٠)^١٠
صاج عاده	١٫٨٠ × (١٠)^١٠
حديد زهر	١٫٠٠ × (١٠)^١٠ الى ٣٫٢ × (١٠)^٩

ويمكن ان يؤخذ في المتوسط بناء على تجارب المعلم *Hodkinson* ٩٫٠ × (١٠)^٩

بلوط وصنوبر وشنوب وشربين وغرغاج   ١٢٥٠٠٠٠٠٠٠ أو ١٫٢٥ × (١٠)^٩

وقد ذكرنا ان معامل المرونة في بعض المواد يختلف كثيرا فالحديد الزهر مثلا هو من هذا القبيل لأنه قد ظهر من التجارب التي

التى أجريت على بعض القناطر التى من الحديد الزهر بأنه لا يؤخذ بالنسبة لقطع الحديد الزهر ذات الابعاد الكبيرة العرضية سوى ٠ر٦ × (١٠)^٩ لمقدار معامل المرونة

وذلك لان قطع الحديد الزهر السميكة غير متجانسة بسبب أن اثناء صبها يبرد سطحها الخارج بسرعة قبل سطحها الداخل ولا يحصل تمام نسج حقيقى بين الاجزاء الخارجة والداخلة

وعلى ذلك يقتضى فى الحديد الزهر أن يؤخذ معامل المرونة ٠ر١ × (١٠)^١٠ فى القطع ذات الاسماك الرفيعة وأن يؤخذ ٠ر٦ × (١٠)^٩ فى القطع ذات الاسماك الكبيرة

والحديد لا يحصل له استطالة دائمية الا اذا تجاوز الجذب ١٥ كيلوجرام على المليمتر المربع وانما فى العمل لا يتوصل قط الى هذا الحد

وبالجملة فانه يمكن ان يعتبر بالنسبة للحسابات فى العمل بأن قوانين الجذب وعلى الخصوص نسبة الاستطالات للأحمال مضبوطة جدا لكن يقتضى الاحتراس من استعمال الارتباطات الناتجة من هذه القوانين فى الأحوال التى تكون فيها تلك القوانين غير صحيحة بالكلية اعنى فى حدود تجاوز نهاية المرونة

ولا يخفى ان وحدة القوى فى الارتباطات السابقة هى الكيلوجرام وان وحدة السطوح هى المليمتر المربع وقد يستعمل بعض المؤلفين السنتيمتر المربع وحدة للسطوح واتباع هذه الطريقة فى الارتباطات السابقة سهل جدا وانما يقتضى بعض الالتفات ففى الحالة التى يتخذ فيها السنتيمتر المربع وحدة للسطوح يلزم قسمة اعداد الجدول السابق على ١٠٠٠٠ أو على (١٠)^٤ وبهذا يحصل سهولة عظيمة فى الحسابات وعند حساب استطالة المناشير فيلزم اعتبار ثقل المنشور اذا كان طوله كبيرا

وحينئذ يستخرج مقدار الاستطالة بعد اجراء جميع التحليلات الرياضية اللازمة من المعادلة الآتية

$$ل' = \frac{1}{و س}\left(ف ل + س ث \times \frac{ل^2}{2}\right)$$

الذى فيه ل' رمزا للاستطالة الكلية ، و لمعامل المرونة ، ف للحمل الواقع على المنشور ، ل لطوله ، ث للثقل النوعى لمادته

فاذا كان ف = ٠ فيكون $ل' = \frac{ث}{و} \times \frac{ل^2}{2}$

وهو قانون خال عن س ومنه تحسب الاستطالة الناتجة من الثقل الخاص للمنشور المذكور

مقاومة الأجسام المختلفة للكسر بتأثير الشد

قد تكلمنا على الشد بالنسبة للاحمال التى لا تتجاوز نهاية المرونة لكن متى كانت الاحمال كبيرة جدا ومجاوزة نهاية المرونة وآخذة فى التزايد بالاستمرار فأن الاستطالات لا تكون مناسبة للأحمال قط والاستطالات الدائمية تأخذ فى الازدياد ويحصل للمادة تأثير شديد ويأتى وقت فيه مقاومتها لا تتغلب على الحمل الواقع عليها ويحصل الكسر ومنظر سطوح الكسر يختلف بحسب التركيب العنصرى للمواد

والحديد الزهر يستمر فى الاستطالة بمجرد ازدياد الحمل ويحصل الكسر فيه فجأة بدون استشعار بأدنى حادثة وسطوح كسره تكون مستوية تقريبا ومنظرها بلورى ويحصل مثل ذلك فى الصلب الزهر

وأما الحديد المطروق المتأثر بالشد يرى ان قطاعه يأخذ في النقص شيئا فشيئا في جهة معينة ويحصل الكسر متى وصل النقص لحد معين ويرى من المكسر ان التركيب الخيطي أو الليفي حصل له تغيير عظيم جدا

وأما الاخشاب ذات الالياف الغليظة مثل التنوب تستطيل ابتداء ومتى قربت من الكسر يسمع لها صوت داخلي ناشئ من تمزق بعض الخيوط والفرقعة تأخذ في الازدياد بالاستمرار الى ان يحصل الكسر ويظهر من سطوح الانفصال اجزاء بارزة باقية من الالياف الغليظة المنعزلة

وهذه الحالة لاتحصل في الاخشاب ذات الالياف الصغيرة المندمجة بل ان الكسر يحصل فيها فجأة ولايحصل للتركيب الليفي بها تغيير بالكسر حيث أن التجاويف فيها قليلة العمق

حمل الكسر — حمل الشد أو الضغط المنسوب للوحدة السطحية الذي يحدث تمزق ألياف أو خيوط القطع يسمى بحمل الكسر وهو لايتعلق بأطوال المناشير بل انه مناسب لقطاعاتها العرضية وثابت بالنسبة لمادة معلومة مأخوذة في شروط واحدة

ولأجل بيان حمل الكسر لمادة يقتضي معرفة الحمل اللازم وقوعه على السنتيمتر المربع من القطاع العرضي لها لحصول الكسر

وهاك جدولا مشتملا على احمال الكسر بالنسبة للسنتيمتر المربع لمواد مختلفة

سلك حديد	من ٥٠٠٠ر	الى ٩٠٠٠ر كيلوجرام	والعادة	٧٠٠٠ر كيلوجرام
حديد قضبان	٥٠٠٠ر ״	٦٠٠٠ر ״	״	٤٠٠٠ر ״
حديد صاج	٣٥٠٠ر ״	٤٠٠٠ر ״	״	٢٦٠٠ر ״
حديد زهر	٩٠٠ر ״	١٤٥٠ر		
صنوبر وبلوط	٨٠٠ر			
صنوبر وحشي وعرعار	١٠٥٠ر ״	١١٣٠ر		
خشب الراتنج أو الشوح وتنوب الشمال	٦٠٠ر ״	٩٠٠ر		
تنوب جبال فوجه	٤٠ر			

ويرى من هذا الجدول أيضا عدم وجود ضبط مطلق في تقدير الاعداد السابقة وان يقتضي على العموم اتخاذ المتوسط

وعند ما يراد اجراء شغل مهم بواسطة مواد معينة فالأصوب على العموم الالتجاء الى التجاريب العديدة التي اجريت على هذه المواد نفسها كي يتيسر الحصول مباشرة على معاملات المرونة وعلى احمال الكسر اللازم اتخاذها

حمل الأمن — حمل الأمن هو الذي يلزم وقوعه مع الأمن على القطع المختلفة الداخلة في الانشاآت ويساوى على العموم نصف الحمل المطابق لنهاية المرونة تقريبا

وحمل الأمن يختلف عن حمل الكسر بحسب انواع المواد فيساوى من $\frac{1}{6}$ الى $\frac{1}{3}$ حمل الكسر في المعادن ومن $\frac{1}{10}$ الى

الى $\frac{1}{8}$ حمل الكسر في الأخشاب ، $\frac{1}{5}$ حمل الكسر في الأحجار ، $\frac{1}{12}$ من حمل الكسر في المون

معامل الأمن ـ النسبة الكائنة بين حمل الأمن وحمل الكسر بحسب نوع كل مادة تسمى بمعامل الأمن وحينئذ فالكسور $\frac{1}{12}$ ، $\frac{1}{10}$ ، $\frac{1}{8}$ الخ السابق ذكرها تسمى معاملات الأمن

ومعاملات الأمن المذكورة معينة بالتجربة وتؤدي الصلابة كافية بدون ان يصرف مقدار كبير من المادة

وحيث أنه يرى من الجدول السابق ان مقاومة الحديد للكسر هي ٣٦ كيلوجرام على المليمتر المربع فيكون مقدار الحمل اللازم توقيعه عليه مع الأمن هو ٦ كيلوجرام على المليمتر المربع بناء على أن معامل الأمن هو $\frac{1}{6}$ حمل الكسر

وأما الحديد الزهر فلا يحمل بحمل شد مع الأمن الا بمقدار واحد كيلوجرام على المليمتر المربع حيث ان تركيبه متغير جدا ومقاوم للشد بكيفية قليلة الانتظام وحينئذ فيرى ان معامل الحديد الزهر أقل من سدس

(وهاك جدولا عموميا لبعض المواد)

المواد	ثقل المتر المكعب	معامل المرونة E	نهاية المرونة: للشد	نهاية المرونة: للضغط	حمل الكسر: للشد	حمل الكسر: للضغط	حمل الأمن: للشد	حمل الأمن: للضغط
	كيلوجرام	كيلوجرام بالنسبة للمتر المربع	كيلوجرام بالنسبة للمليمتر المربع					
حديد: سلك حديد / مطروق / صاج	٧٨٠٠	من ١٨٠ × 10^8 الى ٢٢٠ × 10^8 (١٦٠ × 10^8 بالنسبة للأشغال الصناعية الجسيمة)	١٥	١٥	٧٠ / ٤٠ / ٣٣	٢٥	١٢ (١) / ٦,٠ الى ٨,٠ / ٥ الى ٧,٥	″ / ٦ الى ٨ / ٥ الى ٧,٥
صلب مصبوب	٧٨٠٠	٢٠٠ × 10^8	٢٢	٢٢	٦٠	٤٠	٨	٨
		للشد / للضغط					شد بسيط	للضغط أو للشد في حالة الانثناء
حديد زهر	٧٢٠٠	للشد: ٦٠ الى ١٢٠ × 10^8 ؛ للضغط: ٨٠ × 10^8 ؛ وفي المتوسط ٨٠ × 10^8 في الشد أو الضغط	٦	١٠	٩ الى ١٤	٦٣	٣	٤ الى ٥
خشب: قرو جاف / تنوب جاف	٨٠٠ / ٥٣٠	٩ × 10^8 الى ١٢ × 10^8	٢	٢	٦ الى ٩ / ٤	٤ الى ٤,٥	٠,٦ الى ٠,٨	٠,٦ الى ٠,٨

(١) قد يستعمل أحيانا لغاية ١٨

مسائل على الأجسام المنشورية المستطيلة بتأثير الشد

مسئلة (١) ـ ماهى الاستطالة الكلية الحادثة لسلك من الحديد طوله ١٠ متر حامل فى نهايته حمل نهاية المرونة الذى قدره ٣٠٠٠ كيلوجرام على السنتيمتر المربع

لذلك يقال أن

$$\text{ل}' = \frac{\text{ق}'\text{ل}}{\text{و}} = \frac{3000 \times 1000}{2 \times 10^6} = \frac{3}{2} = 15 \ \text{ملليمتر}$$

مسئلة (٢) ـ ماهى الشدة بالنسبة للسنتيمتر المربع لمنشور من الخشب استطالته ملليمتر واحد بالنسبة للمتر الطولى

لذلك يقال انه من الارتباط العمومى للاستطالة يحدث

$$\text{ق}' = \frac{\text{ل}'}{\text{ل}} \times \text{و} = \frac{1}{1000} \times 10^5 = 100 \ \text{كيلوجرام بالنسبة للسنتيمتر المربع}$$

مسئلة (٣) ـ المطلوب تعيين قطاع ساق من الحديد طوله ٣ متر حاملا ثقلا قدره ٢٥٠٠٠ كيلوجرام بفرض ان شدته ١٢٠٠ كيلوجرام بالنسبة للسنتيمتر المربع وأن استطالته النسبية تساوى ملليمتر واحد بالنسبة للمتر الطولى

لذلك يقال أنه يلزم على العموم استعمال القانون الأول أو الثانى من القانونين الآتيين

$$\text{ت} = \frac{\text{ح}}{\text{ق}'} \quad ، \quad \text{ت} = \frac{\text{ح}\,\text{ل}}{\text{و}\,\text{ل}'}$$

بحسب كون $\text{ت} \gtrless \text{ت}$ أعنى بحسب كون

$$\frac{\text{ح}}{\text{ق}'} \gtrless \frac{\text{ح}\,\text{ل}}{\text{و}\,\text{ل}'} \quad \text{أو} \quad \frac{\text{ل}'}{\text{ل}} \gtrless \frac{\text{ق}'}{\text{و}}$$

ولكن فى الحالة الراهنة على أى حال يكون

$$\frac{\text{ل}'}{\text{ل}} = \frac{1}{1000} \quad ، \quad \frac{\text{ق}'}{\text{و}} = \frac{1200}{2 \times 10^6} = \frac{6}{10000}$$

وحيث أن العدد الأول من هذين العددين هو الاكبر فيلزم حينئذ استعمال القانون الأول اعنى لا يلزم مراعاه حساب القطاع الا بالشدة العظمى المفروضة وعليه يكون

$$\text{ت} = \frac{\text{ح}}{\text{ق}'} = \frac{25000}{1200} = \frac{250}{12} = 20{,}83 \ \text{سنتيمتر مربع}$$

وفى هذه الحالة تكون الاستطالة النسبية مساوية الى ٦ر٠ ملليمتر بالنسبة للمتر الطولى

مسئلة (٤) ـ مامقدار استطالة قضيب منشورى من الحديد قطاعه مربع ضلعه ٣ سنتيمتر طوله ٦ سنتيمتر بتأثير ثقل قدره ٥٠٠٠ كيلوجرام بمراعاة ثقله

لذلك يقال ان

$$\text{ل}' = \frac{1}{\text{و}\,\text{ت}} \times \left(\text{ح}\,\text{ل} + \text{ت}\,\text{ث} \times \frac{\text{ل}^2}{2}\right) = \frac{1}{2 \times 10^6 \times 3 \times 3} \left\{ 5000 \times 600 + 9 \times 0{,}0078 \times \frac{600^2}{2} \right)$$

او $\text{ل}' = 0{,}167$ سنتيمتر تقريبا

مسئلة (٥) ـ مامقدار استطالة قضيب منشورى من الحديد طوله ٦٥ متر بتأثير ثقله فقط

لذلك يقال أن

$$\text{ل}' = \frac{\text{ث}}{\text{و}} \times \frac{\text{ل}^2}{2} = \frac{0{,}0078}{2 \times 10^6} \times \frac{6500 \times 6500}{2}$$

أو

أوأن   ل = ٠٫٠٨ سنتيمتر تقريبا

فى مقاومة المناشير لأحمال الشد

اذا رمز لقطاع المنشور بحرف ب ومعامل المقاومة بالنسبة للوحدة السطحية من القطاع بحرف م وللقوة الخارجة التى يلزم ان يقاومها المنشور المذكور بحرف ه يكون

م ب = مقاومة القطاع بتمامه

وحيث ان هذه المقاومة يلزم ان تتزن مع القوة الخارجة فيحدث

ه = م ب

مسئلة (١) ماهو الحمل الذى يمكن أن يتحمله مع الأمنية سلك من الحديد قطره مليمتر ومعامل مقاومته ٣٠٠٠ كيلوجرام بالنسبة للسنتمتر المربع

لذلك يقال ان

ه = م ب = ٣٠٠٠ × $\frac{ط \text{ أو}^٢}{٤}$ = ٢٣٫٥ كيلوجرام تقريبا

مسئلة (٢) المطلوب تعيين قطر شداد حمالون معد لحمل ١٢٠٠٠ كيلوجرام بشدة قدرها ٦٠٠ كيلوجرام بالنسبة للسنتمتر المربع

لذلك يقال أن ب = $\frac{ط د^٢}{٤}$ = $\frac{ه}{م}$ = $\frac{١٢٠٠٠}{٦٠٠}$ = ٢٠ سنتيمتر مربع وفى هذا القانون ب رمز لمساحة القطاع ، د رمز للقطر وعليه يكون

د = ٤ $\sqrt{\frac{٥}{ط}}$ = ٥ر سنتيمتر تقريبا

ومتى كان المنشور طويلا فيلزم اعتبار ثقله فى حساب المقاومة

وحينئذ اذا رمزنا لطوله بالسنتمترات بحرف ل ولثقل السنتمتر المكعب الواحد بحرف ث ولقطاعه بالسنتمترات المربعة بحرف ب يكون

م ب = ه + ث ل ب

مسئلة (١) ما هو قطاع منشور من الحديد طوله ٣٠٠ متر حامل لثقل قدره ١٠٠٠٠ كيلوجرام من بعد معرفة أن الشدة تساوى ٦٠٠ كيلوجرام بالنسبة للسنتمتر المربع

لذلك يقال انه من القانون السابق يحدث

ب = $\frac{ه}{م - ث ل}$

وحيث ان كثافة الحديد هى ٧٫٨ فثقل السنتمتر المكعب يساوى ٠٫٠٠٧٨ ويكون

ب = $\frac{١٠٠٠٠}{٦٠٠ - ٠٫٠٠٧٨ \times ٣٠٠٠٠}$ = ٢٧٫٣٢ سنتمتر مربع

واذا قطعنا النظر عن الثقل الخاص للمنشور يكون

ب = $\frac{ه}{م}$ = $\frac{١٠٠٠٠}{٦٠٠}$ = ١٦٫٦٦ سنتيمتر مربع

مسئلة (٢) اذا كان منشور من خشب التنوب قطاعه مربع ضلعه ٣٥ سنتمتر طوله ٥٠٠ متر وكانت شدته

لاتتجاوز ٥٠ كيلوجرام بالنسبة للسنتمتر المربع فمايكون مقدار الحمل الذى يمكن ان يحتمله المنشور المذكور بتعليقه فيه لذلك يقال حيث أن كثافة خشب المنوب تساوى ٠ر٦٥ يكون

ن = (م - ث ل) ب = (٥٠ - ٠ر٠٠٠٦٥ × ٥٠٠٠٠) × ٣٥²

أو ن = ٥ ر٧٣٤١٢ كيلوجرام

وبعدم اعتبار الثقل الخاص للمنشور يكون

ن = م ب = ٥٠ × ٣٥² = ٦١٢٥٠ كيلوجرام

فى المناشير الحاملة لثقلها فقط

متى كان الحمل الاضافى ن محذوفا فان القانون السابق يؤول الى

م = ث ل

ويفهم من ذلك أنه متى كان المنشور حاملا لثقله فقط تكون مقاومته غير متعلقة بقطاعه ومناسبة لطوله مهما كان القطاع المذكور

وان المقدار ث ل يكون ايضا مساويا على الاكثر مقدار معامل الامن م المستعمل

ويفهم كذلك ان مقدار ل = م/ث المستخرج من القانون السابق يدل على اعظم طول يمكن اعطاؤه لمنشور ذى قطاع حيثما اتفق حامل لثقله الخاص شدته العظمى محدودة بمقدار م

مسئلة — المطلوب تعيين المقادير العظمى لاطوال ثلاثة منشورات من الخشب والزهر والحديد حاملة لاثقالها الخاصة بحيث تكون شدتها محدودة بالمقادير ١٠٠ و٣٠٠ و٦٠٠ بالنسبة للسنتيمتر المربع على التناظر

لذلك يقال انه بناء على المعادلة السابقة يحدث

بالنسبة للخشب ل = ١٠٠ / ٠ر٠٠٠٦٥ = ١٥٣٨ متر

وبالنسبة للزهر ل = ٣٠٠ / ٠ر٠٠٧٢ = ٤١٦ متر

وبالنسبة للحديد ل = ٦٠٠ / ٠ر٠٠٧٨ = ٧٦٩ متر

فى حساب أبعاد الجنازير

فى حالة مايكون الحديد مكونا لجنزير فانه يقاوم أقل مما اذا كان مكونا لقضبان مستقيمة وذلك بسبب انحناء حلقاته وقد نتج من التجارب أن الجنازير المصنوعة من الحديد الذى يحمل ٣٢ كيلوجراما على المليمتر المربع ينقطع بتأثير حمل قدره ٢٤ كيلوجراما وعلى هذا اذا رمز لمعامل مقاومة الحديد فى حالة قضبان بالرمز م ولمعامل مقاومته فى حالة جنزير بالرمز مَ يكون

مَ = ٠ر٧٥ م حيث أن

٢٤/٣٢ = ٠ر٧٥

واذا

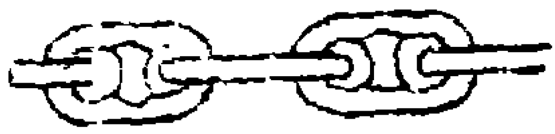
واذا جعل لحلقات الجنزير قطع ساندة فى الوسط فأنه يتحمل ٣٠ كيلوجراما
وفى هذه الحالة يكون م = م بدون خطأ محسوس

جنزير معتاد بسيط



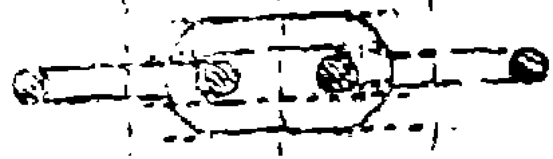
واذا استعملت جنازير طويلة فيلزم اعتبار ثقلها والحساب يلاحظ
ان انفراد الحلقات يساوى فى الظاهر اربعة قضبان قطرها عين

جنزير ذو قطع سانده



قطر حديد الجنزير وطول كل منها عين طول الجنزير المذكور وحينئذ
اذا رمزنا بحرف ق للثقل المطلوب رفعه وبحرف ب لقطاع انفراد

انفراد



احدى حلقات الجنزير وبحرف ل لطول الجنزير وبحرف ث١ للثقل
النوعى للحديد وبحرف م لمعامل مقاومة الحديد ولاحظنا أن
المقاومة تحصل من قطاعين مقدار كل منهما ب يحدث الارتباط الآتى

٢ × ٠,٧٥ × م × ب = ق + ٤ × ب × ل × ث١ أو

ب (١,٥ × م − ٤ ل ث١) = ق ومنها يحدث

ب = ق / (١,٥ م − ٤ ل ث١)

فاذا كان ب = صفر يكون ل = ١,٥ م / ٤ ث١

وفى حالة عدم اعتبار ثقل الجنزير يكون

٤ ب ل × ث١ = ٠ ويحدث

ب = ق / ١,٥ م

وتحمل الجنازير عادة فى الأعمال البحرية بقوى جذب فيها م تصل الى ١٧ كيلوجراما بالنسبة للمليمتر المربع اذا كان قطر حديد الجنزير أقل من ١٦ مليمتر ، م = ١٤ كيلوجراما اذا كان قطر حديد الجنزير يزيد عن ٢٦ مليمتر وقد نتج من حساب المعلم رزال أنه اذا رمز بحرف ء لقطر الحلقة من الداخل فى الطرف وكان نصف قطر انحناء الخيط المتوسط يساوى ١,٠٥ × ء فى طرف الحلقة يكون

ء = ٢,٤٤ √(ق / ط م)

الذى فيه ط رمز للنسبة التقريبيه
وفى الجنازير المعتادة قد يحسب ايضا مقدار ء بدلالة الحمل ق الذى يمكن ان يحمله الجنزير بكل أمن من القانون الآتى وهو

ء = ٠,٠٠٠٤١ √ق

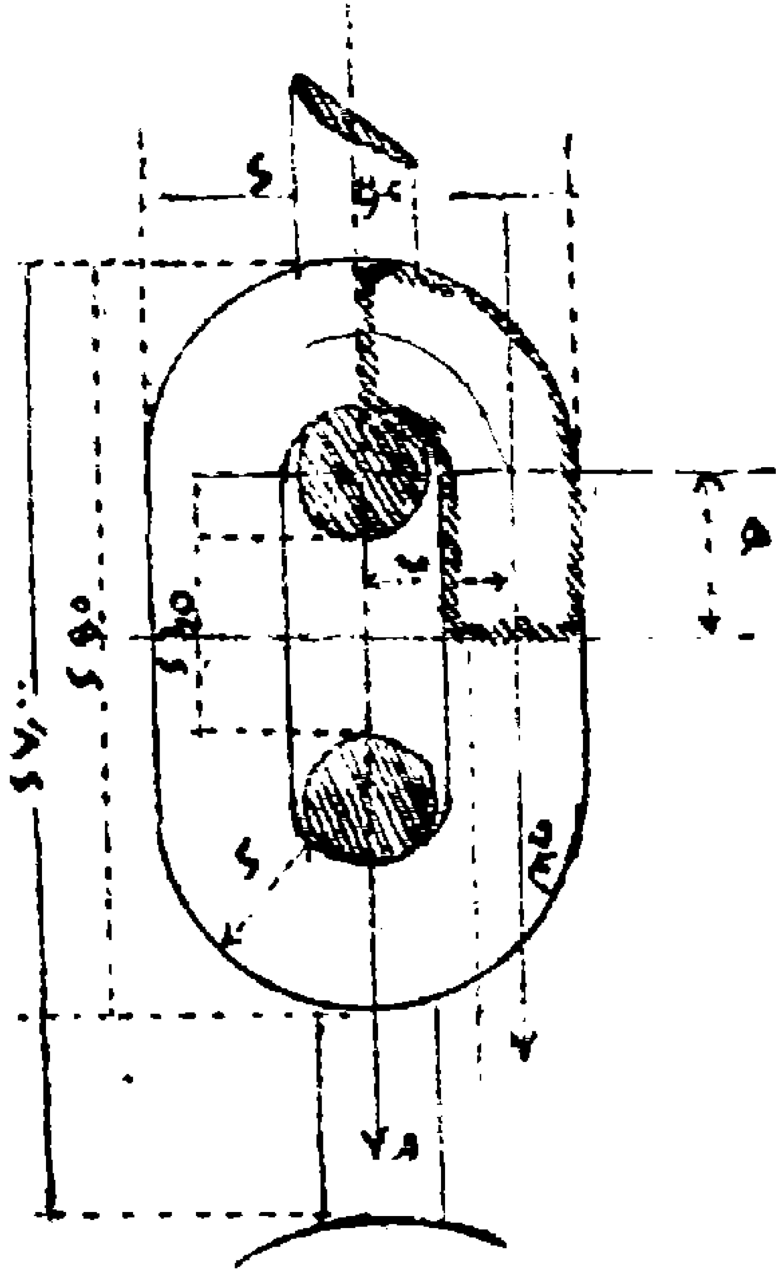
الذى فيه ء مقدر بالمتر ، ق بالكيلوجرام
وباعتبار ثقل الجنزير مع الرمز لطوله بحرف ل مقدرا بالمتر والثقل الذى يحمله مع الأمن بما فيه ثقل الشكل بحرف ق مقدرا بالكيلوجرام فان القطر ء لحديد الجنزير مقدرا بالمتر يحسب من القانون الآتى وهو

ء = √(٢ ك ق / (١٨٨٤٩٠٠٠ − ٦٥١٦٠ ل))

الذى فيه ك = ١٫٦١٨

ويمكن حساب الحجم ح للمتر الطولى للجنزير من القانون

$$\text{ح} = \left[\frac{\text{٤ه} + \text{٢طب}}{\text{٢(ه+ب)} - \text{ء}}\right]\frac{\text{ط ء}^{2}}{\text{٤}} = \text{٢٫٥٨١ ء}^{2}$$



الذى فيه ء مقدر بالمتر ، ح بالمتر المكعب ورموزه تعلم من الشكل وحينئذ اذا رمز بحرف ق لثقل المتر الطولى من الجنزير مقدرا بالكيلوجرام يكون

$$\text{ق} = \text{١٠٦٠٠}\left[\frac{\text{٢ه} + \text{طب}}{\text{٢(ه+ب)} - \text{ء}}\right]\frac{\text{ط ء}^{2}}{\text{٤}} = \text{٢٠١٣٦ ء}^{2}$$

الجنزير ذو الحلقات المستديرة

شكل الحلقات المستديرة لا يستعمل الا لرفع الاحمال القليلة الاهمية وفى هذا النوع من الجنازير لا يحصل التماس بين الحلقات الا فى سطوح صغيرة جدا فاذا رمزنا للحمل المراد رفعه مع الأمن مقدرا بالكيلوجرام بحرف ق ورمزنا لقطر حديد الجنزير مقدرا بالمتر بحرف ء وكان قطر حديد الحلقات أكبر من ٥ر مليمترات فأن ء يحسب من القانون

$$\text{ء} = \text{٠٫٠٠٠٩٨٥}\sqrt{\text{ق}}$$

واذا كان قطر حديد الجنزير أقل من ٥ر مليمترات فأن ء يحسب من القانون

$$\text{ء} = \text{٠٫٠٠٠٧٦}\sqrt{\text{ق}}$$

الجنزير ذو الحلقات الناقصية

بمراعاة نفس الرموز المتقدمة فى الجنزير السابق يتعين القطر ء من القانون

$$\text{ء} = \text{٠٫٠٠٠٤٢}\sqrt{\text{ق}}$$

وهذا القانون مؤسس على فرض ان نصف المحور الاكبر للمحيط المتوسط للحلقة يساوى ١٫٨ ء ونصف المحور الأصغر للمحيط المذكور يساوى ١٫٥٥ ء ومعامل المقاومة بالنسبة للمليمتر المربع يساوى ٨٫٢ كيلوجرام

مسئلة ـ ما مقدار قطر حديد جنزير طوله ٤٠ر متر محمل بثقل مع الأمن قدره ٢٠٠ر كيلوجرام من بعد معلومية ان معامل المقاومة يساوى ٦ر كيلوجرام على المليمتر المربع وأن الثقل النوعى للحديد يساوى ٧٫٨ لذلك يقال أنه من قانون

$$\text{م} = \frac{\text{ق}}{\text{١٫٥م} - \text{٤ ل ث}}$$

بعد أن يوضع فيه عوضا عن الرموز مقاديرها يكون

$$\text{م} = \text{٢٧٫٠٨٩٧}$$

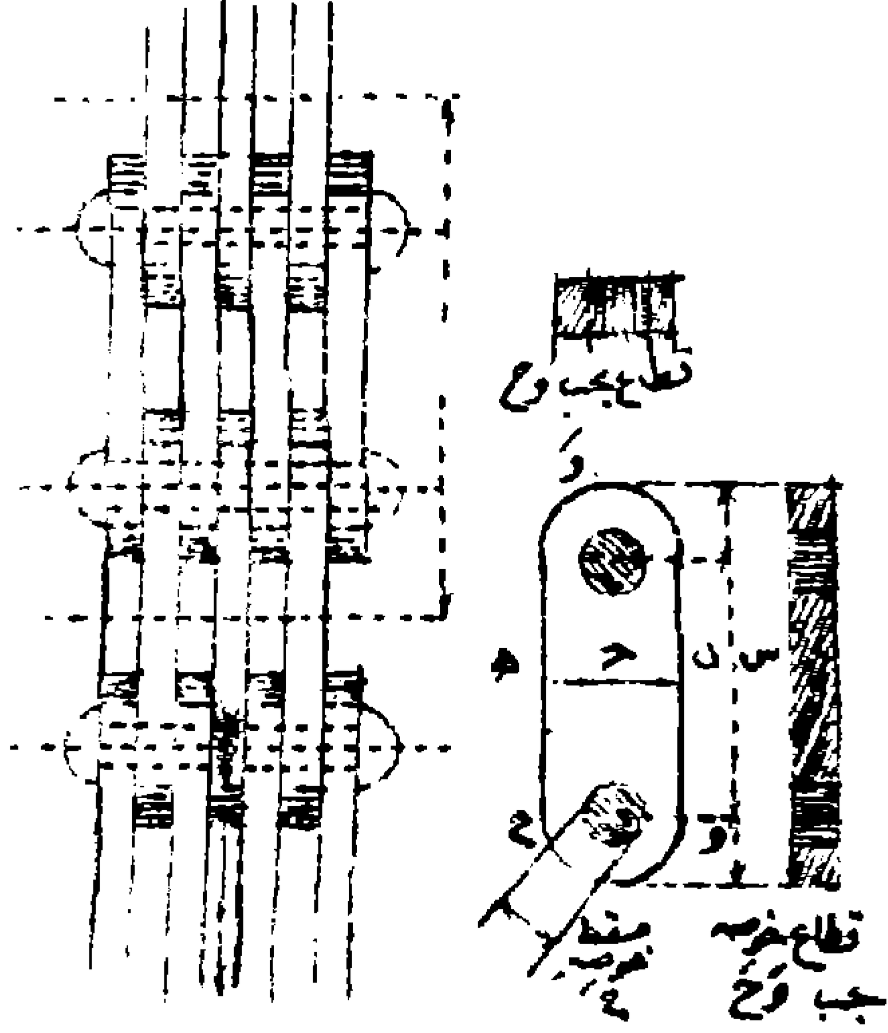
وحيث ان $\text{م} = \frac{\text{ط ء}^{2}}{\text{٤}}$ يكون $\frac{\text{ط ء}^{2}}{\text{٤}} = \text{٢٧٫٠٨٩٧}$ ومنها يحدث

$$\text{ء} = \text{٥٫٨}$$

د = ٥ر٨ مليمتر أو ٦ر مليمتر

حساب جنزير المعلم جال

هذا الجنزير يتركب من خوص من الصاج موضوع بعضها فوق بعض بغاية البساطه ومجتمعة مع بعضها بجاويطات كما هو واضح فى الشكل



والقطاع المقاوم بالنسبة لكل خوصة هو

(ح − د) س

ويوجد دائماً على كل جاويطة عدد فردى من الخوص وليكن ٢ن + ١ عدد الخوص المذكورة الذى فيه ن رمز لعدد صحيح حيثما اتفق وقد يوجد ن من الخوص المذكورة متجها فى جهة ، ن + ١ منها متجها فى الجهة الأخرى

وحينئذ يوجد قطاعات عددها ن محملة بالحمل ويجب ادخالها فى الحساب حيث ان القطاعات الاخرى التى عددها ن + ١ تكون قوية جداً وحينئذ يكون

ن (ح − د) س × م = ق ..... (١)

الذى فيه د رمز لقطر مسمار الجاويطة ، س لسمك الصاج ، ح لعرض الخوصة ، م لمعامل المقاومة ، ق للحمل الذى يتحمله الجنزير مع الأمن

وحيث انه يوجد للجاويطة بالنسبة لكل قطاع (ح − د) س متأثر بالشد قطاعان مقاومان للقص فيكون

٢ن ط × $\frac{د^2}{٤}$ × ٠ر٨ م = قَ ...... (٢)

الذى فيه قَ رمز لقوة القص أو القطع ، ٠ر٨ م هو معامل المقاومة للقص

ولأجل ان يكون الجنزير جيداً يلزم ان يكون

ق = قَ وعليه يكون

ن (ح − د) س م = ٢ن ط $\frac{د^2}{٤}$ × ٠ر٨ م أو

(ح − د) س = ١ر٢٥٦ $د^2$ ...... (٣)

وهذا الارتباط خال من العدد ن ومشتمل على ثلاث كميات ح ، د ، س وحله بالنسبة لأحدها يقتضى وجود ارتباطين آخرين لكن عادة يتبع تقريباً النسب الآتية

ح = ٣د ...... (٢) ،

(٢ن + ١) س ≧ ٦د .... (٤) ،

هـ = ٤د .... (٥) ،

ل = هـ + ٣ر٥ د = ٧ر٥ د ... (٦)

مع ملاحظة أن أطراف الخوص هي انصاف دوائر أو اقواس من دوائر مراكزها محاور الجاويطات

وحينئذ بناء على معادلة (٢) تؤول معادلة (٣) الى

(٣ء − ء) س = ١ر٢٥٦ ء٢ أو ٢ء س = ١ر٢٥٦ ء٢ ومنها يحدث

س = ٠ر٦٢٨ ء

وعادة يصنع الجنزير بحيث يكون فيه س < ٠ر٦٢٨ ء وأن المقدار الذى وجد موافقا للسمك س هو

س = ٠ر٥ ء .... (٦)

وبناء على معادلتى (٢) ، (٦) تؤول معادلة (١) الى

ن (٣ء − ء) ٠ر٥ ء م = ق أو

ن ء٢ م = ق ...... (٧)

وبناء على معادلة (٦) تؤول متباينة (٤) الى

(٢ن + ١) ٠ر٥ ء < ٦ء أو يكون

(٢ن + ١) < ١٢

أعنى يقتضى ان لا يستعمل زيادة عن احدى عشر خوصة على الجاويطة الواحدة حيث انه يلزم ان يكون عدد الخوص على الجاويطة الواحدة فرديا

ولفهم حساب الجنزير المذكور نذكر المسئلة الآتية

مسئلة − المطلوب حساب جنزير حلقاته مكونة من خوص معد لحمل ١٠٠٠٠ر كيلوجرام

لذلك يقال اذا فرض أن ٢ن + ١ = ٩ يكون ن = ٤ وحينئذ من معادلة (٧) بجعل م = ٧ر كيلوجرام بالنسبة للمليمتر المربع يكون

ء٢ = ١٠٠٠٠ / (٤×٧) = ٣٦٠ ومنها يحدث ء = ١٩ر مليمتر

وحينئذ فالجنزير يكون معينا حيث أن

ح = ٣ × ١٩ = ٥٧ر مليمتر)

س = ٠ر٥ × ١٩ = ٩ر٥ مليمتر)

(٢ن + ١) س = ٩ × ٩ر٥ = ٨٥ر٥ مليمتر)

٨٥ر٥ < ٦ × ١٩ < ١١٤)

هـ = ٤ × ١٩ = ٧٦ مليمتر)

ل = ٧ر٥ ء = ١٤٢ر٥ مليمتر

والجنازير الموجودة فى المتجر تصنع عادة من خوص ارق مما هو ناتج من الحسابات

وما ذكرناه بخصوص حساب الجنازير كاف ولا يعلم للآن حساب بخصوص استطالتها بتأثير الاحمال الواقعة عليها وحيث ان اهم تطبيقات استعمال الجنازير هو فى الاشغال البحرية وفى سحب السفن الى البر فأن الجنازير

التى

التي سبق استعمالها تكون هي الأجود والأحسن حيث أن حلقاتها الرديئة تكون قد غيرت بحلقات جيدة

في حساب الأحبال

في الأحبال التيل أو القنب

الأحبال تستعمل على الأخص في البحرية وعلى العموم في الورش والعمارات ولا يقتضي تحميلها بحمل أكبر من نصف حمل القطع وفي هذه الحالة يحصل لها استطالة دائمية مساوية الى $\frac{١}{١٠٠}$ طولها وباستمرار تأثير الأحمال عليها فان اجزائها ينزلق بعضها على بعض وفي لحظة القطع تصل الاستطالة الى سدس طول الحبل ويرى من ذلك أن هاتين الاستطالتين كبيرتان نوعاً ولا يلزم قطع النظر عنهما في بعض الأحيان

والأحبال القنب لها استعمال عظيم في رفع وشد الأحمال ومقاومتها تتعلق أولاً بمقاومة الخيوط الأصلية للقنب وثانياً بعدد تلك الخيوط الداخلة في قطاع الحبل وثالثاً بالاعتناء الكثير أو القليل الحاصل في صناعة تلك الأحبال

وحمل القطع المستعمل عادة في الأحبال هو ٥ر كيلوجرام بالنسبة للمليمتر المربع من القطاع ويمكن تشغيل الأحبال مع الأمنية بخمس حمل القطع

ويستعمل القطران في عمل الأحبال التيل أو القنب الأبيض حيث أن القطران يحفظ القنب من التأثيرات الناتجة المضرة به وهما الهواء والرطوبة لكنه يساعد على انزلاق الخيوط بعضها على بعض ولذلك كانت مقاومة الأحبال المقطرنة تختلف من $\frac{٢}{٣}$ الى $\frac{٣}{٤}$ مقاومة الأحبال البيضا

ومتى ابتلت الأحبال البيضا فأن مقاومتها تنقص الى النصف

والأحبال ذات الاقطار الصغيرة مقاومتها أكبر من مقاومة الأحبال الغليظة بالنسبة لوحدة القطاع

ومدة مكث الأحبال تختلف بحسب نوع استعمالها ففي المحلات الجافة يمكن ان تمكث كثيراً خلاف ما اذا كانت معرضة للرطوبة فانها تتلف بسرعة ففي المناجم يمكن ان تتجاوز في النادر من اربعة الى ستة أشهر وحيث ان هذا التلف السريع يوجب ازدياد مصاريف الاستخراج ويسبب ايضاً للخطر فتستعاض غالباً في المناجم تلك الأحبال بأحبال معدنية

ومعامل مرونة القنب صغير جداً ولا يتجاوز فقط ٢٠٠×١٠^{٦} أعني أنه بالنسبة للحمل الواحد يستطيل القنب ماية مرة أكثر من الحديد

وقد تصنع الأحبال القنب لغاية قطر ٠٫١ مليمتر وانما عيب تلك الأحبال هو كونها قصيرة صلبة جداً وتحدث مقاومة عظيمة للانثناء واللف ففي المناجم التي تكون فيها أحبال الاستخراج طويلة جداً تصنع مبططة لأجل سمك الجزء الملتف وتسهيل الانثناء

وبعد معلومية ان معامل مقاومة الأحبال البيضا هو واحد كيلوجرام بالنسبة للمليمتر المربع اذا رمزنا لقطر الحبل مقدراً بالمتر بحرف ء وللحمل الذي يحمله مع الأمن بحرف ق مقدراً بالكيلوجرام يكون

$$\frac{ط ء^{٢}}{٤} \times ١٠٠٠٠٠٠^{\text{كجرام}} = ق \quad \text{ومنها يحدث}$$

$$د = ٠٫٠٠١١٣ \sqrt{ق}$$

وفى حالة ما يكون الحبل مقطرنا يلزم ضرب معامل المقاومة السابق فى ٠٫٧٥ اى فى $\frac{٣}{٤}$ أعنى أنه اذا كان معامل مقاومة الاحبال البيضا هو م يكون معامل مقاومة الأحبال المقطرنة ٠٫٧٥ م وحينئذ يستنتج قطر الأحبال المقطرنة من القانون

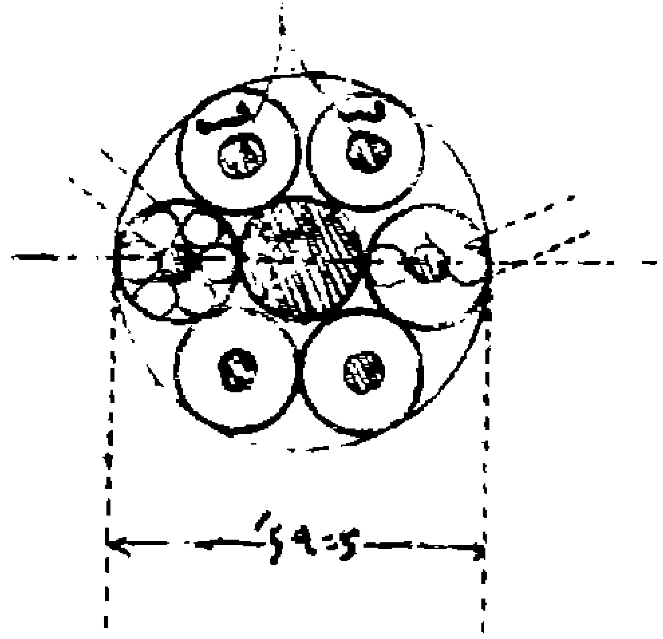
$$د = ٠٫٠٠١١٣ \sqrt{ق}$$

وهاك جدولا يشتمل على مقاومة الأحبال بالنسبة للمتر المربع

جنس الأحبال	قطر	حمل القطع
حبل ابيض	اصغر من ١٤ ملليمتر	كجرام ٨٫٨ × $١٠^{٦}$
حبل أبيض	من ٠٫١٤ ملليمتر الى ٠٫١٧ ملليمتر	٦٫٥ × $١٠^{٦}$
حبل ابيض	من ٠٫١٧ الى ٠٫٣٣	٦٫٠ × $١٠^{٦}$
حبل ابيض	من ٠٫٤٠ الى ٠٫٥٤	٥٫٥ × $١٠^{٦}$
حبل مقطرن	حيثما اتفق	٤٫٤ × $١٠^{٦}$

فى الأحبال المعدنية

الكتل الثقيل الذى تمكثه احبال القنب فى بعض الأعمال وعلى الخصوص فى المناجم هو سبب استبدال أحبال القنب بأحبال معدنية كما ذكر



والحبل المعدنى يتركب عادة من ستة جدائل وكل جديلة مكونة من ستة سلوك من الحديد ثم أنه فى كل جديلة وفى الحبل المعدنى نفسه يوضع قلب من القنب المقطرن لمنع تلك السلوك من الصدا ومن احتكاكها ببعضها

ومقاومة الأحبال المعدنية المكونة بهذه الكيفية تتعلق بمقاومة المادة المتركبة منها السلوك وبالقطاع الكلى لهذه السلوك ويقطع النظر فى حسابات تلك الأحبال عن مقاومة القلوب القنب بسبب الفرق الجسيم الذى يوجد بين معامل مرونة الحديد ومعامل مرونة القنب

فاذا فرض حبل معدنى مركب من ٣٦ سلكا ورمز بحرف دَ لقطر أحدها وبحرف ق للحمل الذى يحمله الحبل المعدنى المذكور مع الأمن وبحرف م لمعامل مقاومة السلوك بالنسبة للوحدة السطحية يحدث

$$\frac{٣٦ \, ط \, دَ^{٢}}{٤} م = ق \quad ومنها \quad دَ = \frac{١}{٣} \sqrt{\frac{ق}{ط م}}$$

وحيث ان قطر الحبل المعدنى يساوى تسعة امثال قطر السلوك كما يشاهد من الشكل فاذا رمز له بحرف د يكون

$$د = ٣ \sqrt{}$$

$$\text{ء} = 3\sqrt{\frac{\text{ه}}{\text{ط م}}} = 1{,}69\sqrt{\frac{\text{ه}}{\text{م}}}$$

وحيث ان قطر السلوك لايجاوز ثلاثة مليمترات فقط وان المقاومة للقطع بالنسبة للسلوك الحديد التي من هذا القطر تصل تقريبا الى ٨٠ كيلوجرام اما بالنسبة للمتر المربع فأنه يمكن اعطاء م المقدار $[14 \times 10^{6}]$ بالنسبة للمتر المربع من القطاع بدون ضرر وعليه يكون

$$\text{ء} = 0{,}0045\sqrt{\text{ه}}$$

وفى هذا القانون ء مقدر بالمتر ، ه بالكيلوجرام

وبمقارنة هذا القانون بقانون الأحبال القنب يرى أنه بالنسبة لحمل الواحد اللازم رفعه أن قطر الحبل المعدنى هو ($\frac{397}{1000}$) قطر الحبل القنب او اربعة اعشار تقريبا

والثقل ق مقدرا بالكيلوجرام للمتر الطولى من الحبل المعدنى المكون من ٣٦ سلكا يتعين من القانون الآتى

$$\text{ق} = \frac{36\,\text{ط ء}^2}{4} \times 7800 + 10\,\frac{\text{ط ء}^2}{4} \times 950$$

بعد معلومية ان الثقل النوعى لسلوك الحديد هو (٧٨٠٠) وأن الثقل النوعى للأحبال القنب هو (٩٥٠) ويمكن وضع القانون السابق مع الاختصار التقريبى هكذا

$$\text{ق} = \frac{\text{ط ء}^2}{4}\left(36 + \frac{15}{8}\right)7800 = 8190 \times \frac{\text{ه}}{\text{م}}$$

فاذا كان $\text{م} = [14 \times (10)^{6}]$ يحصل

$$\text{ق} = 0{,}000585\,\text{ه} = 3646\,\frac{\text{ط ء}^2}{4}$$

وفى حالة ما يكون الحبل من القنب يكون بالمثل

$$\text{ق} = 0{,}000092\,\text{ه} = 950\,\frac{\text{ط ء}^2}{4}$$

وحينئذ بالنسبة لرفع حمل معلوم فأن الحبل المعدنى لايزن الا ($\frac{62}{100}$) من ثقل الحبل القنب المتحد معه فى الطول وبواسطة القانونين الاخيرين يمكن حساب الثقل الخاص للحبل متى كان طويلا وكبيرا نوعا كى يمكن ادخاله فى حساب مقاومته للاحمال المعد لحملها

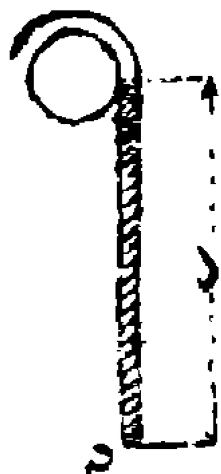
فاذا رمزنا لطول الحبل غير الملتف بحرف ل فانه متى أريد اعتبار ثقل الحبل المعدنى يوضع

$$\frac{\text{ط ء}^2}{4}\left(\frac{36}{81}\,\text{م} - 3646\,\text{ل}\right) = \text{ه}$$

ومنها يحدث

$$\frac{\text{ط ء}^2}{4} = \frac{\text{ه}}{0{,}44\,\text{م} - 3646\,\text{ل}}$$

وبناء على كون $\text{م} = 14 \times 10^{6}$ يكون



$$\text{ء} = 2\sqrt{\frac{\text{ه}}{1932000 - 11448\,\text{ل}}}$$

وفى هذا القانون ء مقدر بالمتر ، ه بالكيلوجرام

وبالمثل بالنسبة لحبل القنب يكون

$$\frac{\text{ط ء}^2}{4}(\text{م} - 900\,\text{ل}) = \text{ه}$$ ومنها يحدث

$$\text{ء} = 2\sqrt{\frac{\text{ه}}{320380 - 2984\,\text{ل}}}$$

وفى هذا القانون ء مقدر بالمتر ، ح بالكيلوجرام

فى حساب الجاويطات ومسامير البرشام

الجاويطات — عند استعمال الجاويطات فى ربط اغطية اسطوانات البخار يلزم ان تعطى قوة شد من ٥ر١ ك ج الى ٢ ك ج بالنسبة للمليمتر المربع تقريبا ويجب تباعدها عن بعضها من ١٠٠ الى ١٥٠ مليمترا ويجب أيضا أن لا يكون عزم الانسان الذى يزنق الصامولة بواسطة المفتاح كافيا لكسر الجاويطة

وقطاع سن الجاويطة مثلث متساوى الأضلاع ذو زاوية مستديرة والخطوة تساوى ⅛ القطر والاستدارة تساوى ⅛ البروز وينتج من ذلك ان القطر فى نهاية السنة من جهة المحور يساوى فى الظاهر ٨٠ر٠ القطر فى الجزء الأملس وقطر الجزء الأملس يستعمل فى تعيين ابعاد الجاويطة فيقال لجاويطة جاويطة من ١٥ أو من ٢٥ أو من ٥٠ مليمترا الخ بناء على كون قطر جزئها الأملس مساويا للمقادير المذكورة على التناظر

فاذا رمزنا للقطر فى نهاية السن بحرف ءَ فيكون القطاع المقاوم هو ط ءَ² / ٤

وحيث ان ءَ = ٨٠ر٠ ء فيكون

ءَ² = ٦٤ر٠ ء²

وحيث ان معامل المقاومة المستعمل عادة فى الجاويطات هو ٦ر كيلوجرامات على المليمتر المربع فى المتوسط يكون الحمل ح لجاويطة قطرها ء هو

ح = ٦ر ك ج × ط / ٤ × ٦٤ر٠ ء²

ومنها يحدث بعد اجراء الحساب

ء = ٥٧٥ر٠ √ح

وهذا القانون مفروض فيه ان معامل المقاومة ٦ كيلوجرامات مع أنه يقتضى تغييره بحسب جنس الحديد المستعمل لصناعة الجاويطة وحينئذ فى القانون السابق الذى يمكن وضعه بهذه الصورة ء = ك √ح يمكن استعمال المقادير الآتيــة

انواع الجاويطــات	مقادير ك	مقادير م على المليمتر المربع
جاويطات مستعملة فى الأخشاب	٧٠ر٠	ك ج ٤ر٠
جاويطات من الحديد الجيد مستعملة فى الآلات	٦٠ر٠	٥ر٥
جاويطات من الصلب المسقى بالجلد مستعملة فى الآلات	٥٠ر٠	٧ر٩٠
جاويطات نية مستعملة فى الآلات	٤٥ر٠	٩ر٧٥
جاويطات مصبوبة وسقية مستعملة فى الآلات	٤٠ر٠	١٢ر٤٠

وهذه المقادير مستعملة فى ورشة سكة حديد الشمال بفرنسا

ويجب ان تكون الاجزاء المختلفة للجاويطة متناسبة جيدا

فالرأس يجب ان تشتمل على سطح تماس مساوٍ لقطاع الجاويطة

وحينئذ يمكن ان يوضع

ط/٤ (ءَ₁² ـ ءَ²) = ط/٤ ءَ²

ومنه يجدث ء₁ = ءَ √٢ = ٨٠ر٠ ء √٢ = ١٢ر١ ء

ومقدار ء₁ هذا صغير ولذا عند عمل الجاويطة يجعل اب = ٢ ء اذا كانت الرأس مسدسة واذا كانت الرأس مستديرة يجعل اب = ٥ر١ ء على الأقل

فى سمك الرأس — يجب أن يوضع

ط ء هـ = ط ءَ²/٤

ويفهم من هذه المعادلة أن رأس الجاويطة تميل الى الكسر على سطح اسطوانى ط ء هـ الذى فيه هـ عبارة عن ارتفاع رأس الجاويطة وان هذا السطح يجب ان يكون مساويا للقطاع ط ءَ²/٤ للجاويطة وتكون مقاومتها عين مقاومته ومن هذه المعادلة ينتج هـ = ء/٤ على الأقل

ولكن غالبا يجعل هـ = ء

فى سمك الصامولة — يجب ان يوضع

ط ءَ²/٤ = ٨٠ر٠ ط ءَ م₁ (م₁ رمز لارتفاع الصامولة)

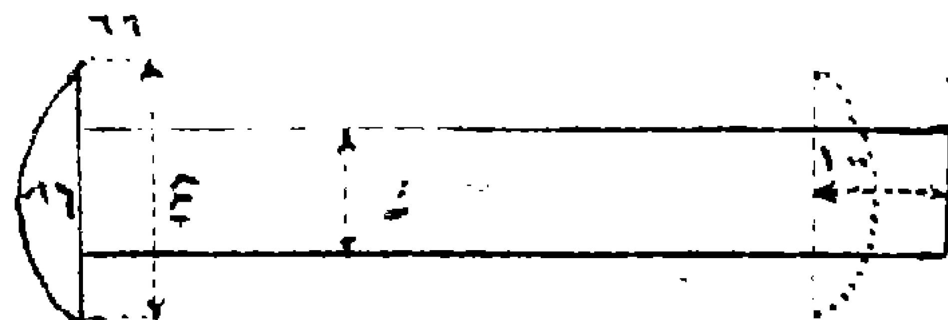
ومنها يجدث ءَ = ٢ر٣ م₁ = ٨٠ر٠ ء ومنها يجدث م₁ = ء/٤

وهذا المقدار أيضا صغير فيجب ان يكون بالنسبة للصواميل السفلى م₁ = ء/٢ وبالنسبة للصواميل المعتادة م₁ = ء وبالنسبة للصواميل العليا م₁ = ٢٥ر١ ء

فى مسامير البرشام — مسامير البرشام تستعمل لربط جملة الواح من الحديد الصاج أو من النحاس بعضها ببعض ويتركب مسمار البرشام من الرأس والساق والبرشام فالرأس قد يكون كرويا او على شكل مخروط ناقص والبرشام كذلك وقد يصنع بواسطة المطرقة الصغيرة المعدة لذلك أو بواسطة الآلة

ومسمار البرشام يوضع على الحامى ويجب ان يملأ بالضبط الثقب المصنوع فى الصاج المطلوب ربطه ببعضه وهذا الثقب يجب ان يكون اسطوانيا ما امكن والمقادير التى تعطى لأجزاء مسمار البرشام بالعمل باعتبار ء = ١٠٠ر هى

بروز الرأس = ٦٦ والرأس قطعة كروية نصف قطرها ٨٦ وقطر قاعدة القطعة ١٦٦ ولاجل تكوين الرأس الأخرى اى البرشام بحيث تكون مشابهة للأولى يلزم ان يكون بروز ساق مسمار البرشام مساويا ١٠٠ر يجب ان يلاحظ ان هذه المقادير تكون بالنسبة للبرشمة التى تصنع بالمطرقة التى لا يلزم فيها وجود زيادة من الحديد



ومسامير البرشام الطويلة جداً يلزم قطعها عن حساب السمك واذا رمزنا لقطر القلب بحرف ء ولسمك لوح الصاج اللازم ثقبه بحرف س فانه يكون

س < ٣/٤ ء

وعادة تكون الثقوب المطلوب عملها في الصاج ذات قطر ضعف سمكها اعني يكون س = ١/٢ ء وهذا هو الجاري في العمل ومتى كان الصاج متأثراً بحمل شد فأن مسامير البرشام تميل الى القطع أو القص فاذا رمزنا لمقاومة الحديد للشد بالنسبة للوحدة السطحية بالرمز م وللمقاومة للقص بالرمز مَ يكون

مَ = ٠٫٨ م

ولاجل تعيين عدد مسامير البرشام وابعاد اجزائها نتكلم ابتداء على الحالة التي يراد فيها عمل برشمة غير منفذة للسوائل والغازات وهي حالة برشمة قزانات البخار وصهاريج الهواء والماء المضغوطين ونحو ذلك نقول ان العمل نفسه هو الذي يعين في هذه الحالة أبعاد وتباعد مسامير البرشام كالآتي المتباعد من محور الى آخر

ا = ٤ س ، (س سمك اللوح الصاج) وقطر الرأس ء = ٠٫٥ س + ٣ مليمتر وقطر مسمار البرشام

ءَ = ٥/٤ ء ولا تستعمل هذه القوانين التجريبية كما هي بالضبط بل لأجل عدم تعدد العدد الخاصة بالبرشمة يستعمل قطر واحد لمسمار البرشام لجملة اسماك مختلفة للصاج

متى كان الضغط داخل القزان مرتفعاً جداً بأن كان أكبر من ٧ الى ٨ جوات بحيث يكون القزان متأثراً كثيراً أو كان الصاج رقيقاً مثل الصاج الذي من الصلب أو كانت اشكال القزانات صعبة الانشاء فتصنع البرشمة على هيئة صفوف شطرنجية بحيث يكون الخط المتوسط للصف على بعدين متساويين من طرفي القطعة وأن مسامير برشام أي صف تكون مع مسامير الصف المجاور له مثلثات متساوية الأضلاع وأما في حالة التلاويح التي من الصاج أي في اشغال ربط الصاج ببعضه ليتكون عن ذلك شكل مكون لنوع تلويح فأن عدد واقطار مسامير البرشام يتعينان بحسب احوال المقاومة

وحينئذ بعد معلومية ان قوة الالتصاق الناشئة بين الصاج وبعضه الحادث من كل مليمتر مربع من قطاع مسمار البرشام تختلف من ١٤ الى ١٨ كيلوجراماً يمكن ان يعول على ٣٫٥ ك ج الى ٤٫٥ ك ج مع الأمن ولكن ٤ ك ج
وحينئذ اذا رمزنا بحرفي ل ، س لعرض وسمك لوح من الصاج مقدرين بالمليمتر فالمقاومة التي تنشأ عنه تكون ٧ ك ج × س × ل

وحيث ان مسامير البرشام تحدث قوة التصاق قدرها ٣٫٥ ك ج × ن × ب الذي فيه ن رمز لعدد مسامير البرشام ، ب رمز لقطاع احد المسامير فاذا جعل ء رمزاً لقطر مسمار البرشام يكون

ب = ط ء٢ / ٤ ، ء = ٢س تقريباً ويكون

ء٢ = ٤ س٢ ، ب = ط × ٤ س٢ / ٤ = ط س٢

وحيث انه يلزم ان تكون المقاومة واحدة بالنسبة لجميع اجزاء الصاج فيكون

٧ ك ج × س × ل = ٣٫٥ ك ج × ن × ط س٢ ومنها يحدث

$$ن = \frac{٧ ل}{٣٫٥ ط س} = \frac{٢ ل}{ط س}$$

وهذا العدد هو النهاية العظمى للأمن

وعادة يعتبر للالتصاق ٠ر٧ كج عوضا عن ٥ر٣ كج وهذا يؤدى الى القانون

$$ن = \frac{ل}{ط س}$$

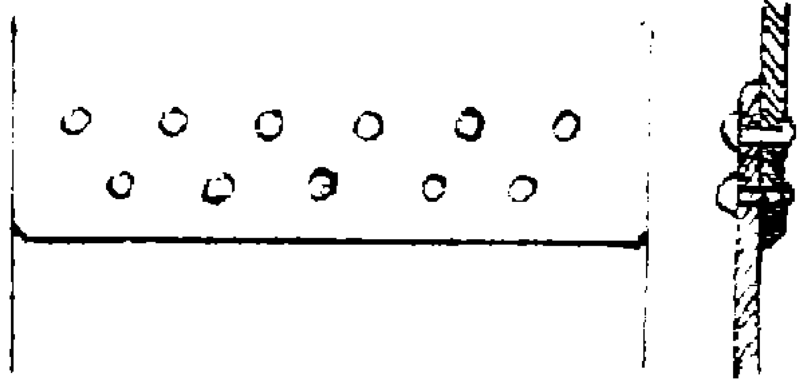
وحيث كانت مقاومة الحديد فى القانون السابق ٠ر٧ كج وهى تساوى قوة الالتصاق ٠ر٧ كج بالنسبة لمسمار البرشام فمن الواضح أنه اذا كان الحديد محملا قليلا يكون مسمار البرشام كذلك وحينئذ يجب مراعاة التساوى بين المقاومتين فى جميع الأحوال

مثال — اذا كان المطلوب برشمة لوحين من الصاج سمك كل منهما ١٢ ملليمترا وعرضه ٥٠٠ ملليمتر فما عدد مسامير البرشام لذلك يقال أن

$$ن = \frac{٥٠٠}{ط \times ١٢} \quad \text{أو} \quad ن = ١٤ \;\text{أو}\; ١٥$$

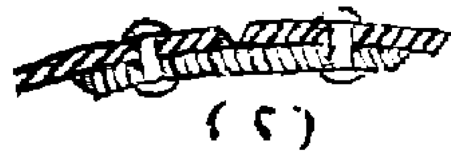
فاذا وضعت على مستقيم واحد فالمسافة الكائنة بين محورى مسمارين متتابعين تكون مساوية الى $\frac{٥٠٠}{١٥} = ٣٣ر٣$ ملليمترا

ولكن حيث كان سمك الصاج = ١٢ ملليمترا فيلزم ان لا تكون المسافة بين المحورين اقل من ٤ × ١٢ ملليمترا = ٤٨ ملليمترا وحينئذ يجب وضعها على شكل شطرنجى منها ٨ على مستقيم و ٧ على مستقيم آخر وتكون المسافة بين المحورين فى هذه الحالة هى $\frac{٥٠٠}{٨}$ مليمترا = ٦٠ مليمترا تقريبا



لكن هذا التركيب من الصاج ليس هو الأحسن حيث أنه يميل لكسر البرشمة وحينئذ نستعمل اغطية اللحامات لكن اذا استعمل غطاء واحد فالتركيب يميل لأن يأخذ الشكل الموضح فى (١) ، (٢) وهذا أيضا ردئ


(٣)


(٢)


(١)

وحينئذ فيجب استعمال غطائى لحام سمك كل منهما نصف سمك الصاج كما فى شكل ٣ ولكن فى هذه الحالة يوجد التصاقان مقابلان لتأثير مسمار برشام واحد وحينئذ نفرض ان قوة الالتصاق تساوى مقاومة الصاج دائما يكون

$$٢ أ \times ن \times ب = م \times س \times ل \qquad \text{وحيث أن}$$

ن = $\frac{\text{ط ق}^{2}}{4}$ ، ء = ٢ س فيكون ب = ط ش ويحدث

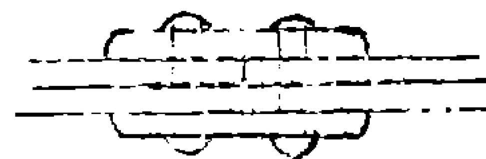
٢ أ ء × ط ش = م س ل ومنها يحدث

ن = $\frac{\text{ل}}{\text{٢ ط س}}$ حيث أن أ = م

وينتج من ذلك ان عدد مسامير البرشام يمكن ان يكون نصف العدد الكلى بالنسبة للطريقة الأولى وحيث أنه يلزم ان يوضع على الأقل خطان من مسامير البرشام فيستعمل العدد الناتج من هذه الطريقة الأخيرة وتكون حينئذ هذه الطريقة أحسن كثير من الأولى

ومتى كان لوحان من الصاج موضوعين على بعضهما فيجعل أحد اللوحين غطاء لحام لكن هذا التركيب ردئ حيث أنه اذا كان ش رمزا لشدة الجملة فشدة كل لوح من الصاج تكون $\frac{1}{2}$ ش ولكن شدة اللوح المنفصل تنقسم الى قسمين احدهما $\frac{1}{2}$ ش فى غطاء اللحام والثانى $\frac{1}{2}$ ش فى الصاج الأسفل الذى يحمل حينئذ ($\frac{1}{2}$ + $\frac{1}{2}$) ش = $\frac{3}{4}$ ش وحينئذ فلاجل ان لا يكون اللوح الأسفل محملا زيادة عن الذى فوقه فيلزم تقويته بغطاء لحام مشابه للذى فوقه أعنى يكون سمكه نصف سمك الصاج المفروض

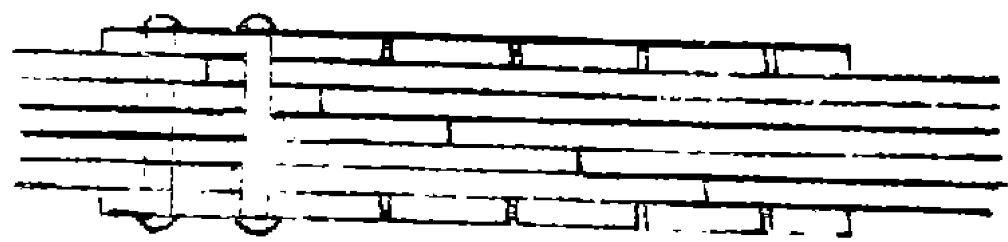




ومتى وجد أو أريد من لوحين موضوعين فوق بعضهما بحيث ان الحمل الاضافى يمكن توزيعه على عدد كثير من الواح الصاج فيمكن أحيانا الاستغناء عن غطاء اللحام الأسفل لكن الاحسن وضع غطاء اللحام المذكور وفى هذه الحالة أيضا حيث انه عند قرب لحامات الانفصال بعضها من بعض فأن أغطية اللحامات تقرب من بعضها كذلك وتتكرر فالاحسن جعلها لوحا واحدا من الصاج وحيث أن العدد الضرورى لمسامير البرشام لا يمكن وضعه على العموم على خط واحد وكان التأثير الحاصل من مسامير البرشام المذكورة هو

اولا حدوث التصاق بين الصاج وغطا اللحام الذى ينقل عليه تأثير شد الصاج

ثانيا اضعاف الصاج وغطا اللحام الموضوعة فيهما فحينئذ يجب اعتبار هذين التأثيرين



قد علم مما تقدم ان عدد مسامير البرشام الضرورية لعمل اللحام بأمن عظيم هو

ن = $\frac{\text{ك ل}}{\text{س}}$

مع أنه فى بعض الانشاآت قد يكون عدد مسامير البرشام نصف ذلك وقد علمنا أيضا أن غطاء اللحام يلزم ان يكون مكونا من قرصين متساويين سمك كل منها يساوى $\frac{\text{ش}}{2}$ ومجموعها المكون للسمك س هو ما يسمى بغطا اللحام

وحيث

وحيث أن مسامير البرشام الداخلة فى غطاء اللحام تقلل عرضه المقاوم وتنقل عليه جزء من الحمل الكلى فاذا رمز للحمل المذكور بحرف ش تكون شدة الصاج المنفصل هى

$$\text{م} = \frac{\text{ش}}{\text{س} \times \text{ل}}$$

قبل الصف الاول لمسامير البرشام ويكون فى الصف الاول لمسامير البرشام الذى فيه عدد المسامير ن_1 هى

$$\frac{\text{ش}}{\text{س}(\text{ل} - \text{ن}_1\,\text{ى})} = \text{م}' \quad \text{ويكون}$$

$$\frac{\text{م}'}{\text{م}} = \frac{\text{ش}}{\text{س}(\text{ل} - \text{ن}_1\,\text{ى})} \times \frac{\text{س}\times\text{ل}}{\text{ش}} = \frac{\text{ل}}{\text{ل} - \text{ن}_1\,\text{ى}}$$

فاذا فرضنا ان $\frac{\text{م}'}{\text{م}} = \text{١ر٢}$ مثلا الذى لايجب تجاوزه يكون

$$\text{١ر٢}\,(\text{ل} - \text{ن}_1\,\text{ى}) = \text{ل} \quad \text{أو} \quad \text{٠ر٢} \times \text{ل} = \text{١ر٢} \times \text{ن}_1 \times \text{ى} \quad \text{ومنها يحدث}$$

$$\text{ن}_1 = \frac{\text{٠ر٢} \times \text{ل}}{\text{١ر٢} \times \text{ى}} = \frac{1}{6} \times \frac{\text{ل}}{\text{ى}}$$

وهو مقدار عدد مسامير البرشام فى الصف الاول وهو ينقل بالالتصاق على غطاء اللحام الحمل الآتى

$$\frac{1}{2}\,\text{م} \times \text{ن}_1 \times \text{ف} = \frac{1}{2}\,\text{م} \times \frac{\text{٠ر٢}\,\text{ل}}{\text{١ر٢}\,\text{ى}} \times \frac{\text{ط}\,\text{ى}^2}{4} \quad \text{أو}$$

$$\frac{1}{2}\,\text{م} \times \text{ن}_1 \times \text{ف} = \text{٠ر٠٦٥٤} \times \text{م} \times \text{ل} \times \text{ى} = \text{ش}_1$$

بحيث ان الحمل الباقى اللازم نقله فى الصاج قبل الصف الثانى لمسامير البرشام يكون

$$\text{ش} - \text{ش}_1$$

ولكن الصف الثانى فيه عدد من مسامير البرشام قدره ن_2

ونفرض ان المقاومة المعتبرة هى $\text{م}'$ أيضا يكون

$$\text{م}' \times \text{س}\,(\text{ل} - \text{ن}_2 \times \text{ى}) = \text{ش} - \text{ش}_1 \quad \text{أو}$$

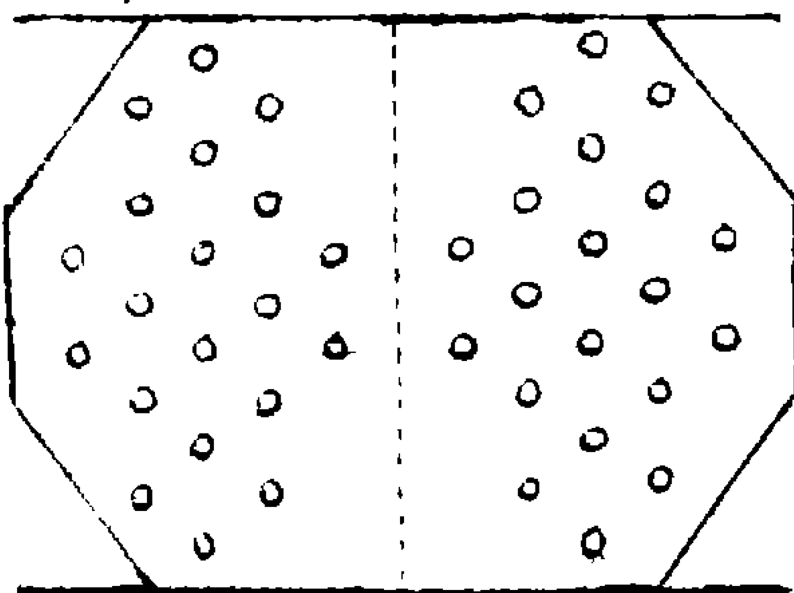
$$\text{١ر٢}\,\text{م}\,\text{س}\,(\text{ل} - \text{ن}_2\,\text{ى}) = \text{ش} - \text{٠ر٠٦٥٤} \times \text{م} \times \text{ل} \times \text{ى}$$

ومن هذا الارتباط يحسب مقدار ن_2 ولكن العدد ن_2 لمسامير البرشام ينقل على غطاء اللحام حملا قدره ش_2 وحينئذ فيحسب العدد ن_3 لمسامير برشام الصف الثالث بأن يوضع ايضا

$$\text{١ر٢}\,(\text{ل} - \text{ن}_3\,\text{ى})\,\text{م} \times \text{س} = \text{ش} - \text{ش}_1 - \text{ش}_2 \quad \text{وهكذا}$$

لكن حيث ان التوزيع يلزم أن يكون واحدا بالنسبة لغطاء اللحام أعنى أن يكون عدد الثقوب فى وسطه أقل ما يمكن وزيادة على ذلك يلزم ان تكون مسامير البرشام المذكورة موضوعة بكيفية متماثلة بالنسبة لخط اللحام فيرى ان مقدار ن_1 ، ن_2 ، ن_3 .... والخ يلزم ان تكون اخذة فى التزايد بحيث يكون

$$\text{ن}_1 + \text{ن}_2 + \text{ن}_3 \ldots + \text{ن}_{\text{م}-1} + \frac{\text{ن}_{\text{م}}}{2} = \frac{\text{ن}}{4}$$



$\text{ن}_1 = 2$	$2\,\text{ن}_1 = 4$
$\text{ن}_2 = 5$	$2\,\text{ن}_2 = 10$
$\text{ن}_3 = 6$	$2\,\text{ن}_3 = 6$
$\text{ن} = 40$	20

وحينئذ فى الشكل الآتى يلزم ان يوجد

$$\text{ن}_1 + \text{ن}_2 + \frac{\text{ن}_3}{2} = \frac{\text{ن}}{4} \quad \text{أو} \quad 2\,\text{ن}_1 + 2\,\text{ن}_2 + \text{ن}_3 = \frac{\text{ن}}{2}$$

ومسئلة دراسة غطاء اللحامات مهمة جدا حيث انها تحصل بشغل كبير فى القناطر المعدنيه وهذا الشغل يختلف من ٢٠ الى ١٥ جزء

فى المائة من الثقل الكلى وحيث ان وجود غطا اللحامات ناشئ عن عدم استمرار الصاج الذى باستمراره لا يكون لوجودها ضرورة فيجب حينئذ تقليلها ما امكن بدون احداث ضرر فى الصلابة

وهاك جدولين خاصين بمسامير البرشام وابعادها عن بعضها وسمك الصاج المقتضى ربطه

سمك الصاج المقتضى ربطه بما فيه سمك الزوايا		قطر مسامير البرشام
مليمتر		مليمتر
من	الى	
٦	١٠	٨
١٠	١٢	١٠
١٢	١٤	١٢
١٤	١٦	١٤
١٦	٢٠	١٦
٢٠	٢٥	١٨
٢٥	٢٥	٢٠
٢٥	٥٠	٢٢
٥٠	٧٠	٢٥

اقطار مسامير البرشام بالمليمتر	٨	١٠	١٢	١٤	١٦	١٨	٢٠	٢٢	٢٥
ابعاد مسامير البرشام من محور الى آخر بالمليمتر	من ٥٠ الى ٦٠	من ٦٠ الى ٧٠	من ٧٠ الى ٨٠	من ٨٠ الى ٩٠	من ٩٠ الى ١٠٠	من ١٠٠ الى ١٢٠	من ١٠٠ الى ١٢٠	من ١٠٠ الى ١٢٠	من ١٠٠ الى ١٢٠

وعادة يترك بين محاور البرشام وحافة الصاج بعد قدره مرتين ونصف قطر البرشام وهذا المقدار يتغير عادة من ٤٠ ملليمتر الى ٥٠ ملليمتر

فسامير

فى مسامير برشام أفران القزانات

هذه المسامير كل منها عبارة عن ساق يربط الأجزاء الداخلة لفرن القزان مع الاجزاء الخارجة ورأسه من أحد الطرفين كروية على العموم ويبرشم من الطرف الآخر ولأجل وضعه فى محله يصنع فوق رأسه مربع لأجل امكان تدويره والطرف الذى يبرز عن السمك يبرشم بواسطة الآلة والساق مقلوز والمسمار المستعمل قد يكون من نحاس أو من الحديد المطاوع بحسب كون الجدران الداخلة من النحاس أو من الحديد وعلى العموم يلزم أن يكون معدن المسمار من جنس معدن الجدران الداخلة اذ بدون ذلك يمكن خروج المسمار المذكور بسبب عدم تساوى تمدد المعدن

والتباعد بين المسامير يختلف من ٩٠ الى ١٢٠ مليمتر من محور الى آخر وكل منها يتحمل ضغط البخار على مربع ضلعه مساوٍ لتباعدها عن بعضها فاذا كان الضغط المذكور كبيراً جداً أو اذا كان تباعد المسامير عن بعضها كبيراً جداً ايضاً فان الصاج ينحنى والمسمار ينخرج من محله وقد ظهر من التجارب المخصوصة أن نوع المسامير المذكورة يمكنها ان تتحمل لغاية ٣٠ كيلوجراما تأثير الشد على المليمتر المربع وانما يجب تباعدها عن بعضها بحيث لا تتحمل الا بالسدس اى ٥٫٠٠ كيلوجرامات فى النهاية العظمى وحينئذ اذا رمزنا بحرف ا لتباعد المسامير عن بعضها وبحرف ض لضغط البخار على المليمتر المربع وبحرف ء لقطر المسمار وبحرف ءَ لقطره فى مبدأ القلوزة من جهة المحور فانه يكون

$$\text{ض} \times \text{ا}^{2} = \text{م}\,\frac{\text{ط}}{4}\,\text{ءَ}^{2}$$

ويفهم من ذلك أن قطر المسمار يلزم ان يكون مناسبا للتباعد والقطر هنا هو القطر فى مبدأ القلوزة وقد يمكن هنا كما فى الجاويطات أن نجعل

$$\text{ءَ} = ٠٫٨\ \text{ء} \quad \text{وعليه يكون}$$

$$\text{ءَ}^{2} = ٠٫٦٤\ \text{ء}^{2}$$

وبجعل م = ٥ كيلوجرامات فأن المعادلة السابقة تؤول الى

$$\text{ض}\,\text{ا}^{2} = ٥ \times \frac{\text{ط}}{4} \times ٠٫٦٤\ \text{ء}^{2} \quad \text{ومنها ينتج أن}$$

$$\text{ء} = \text{ا}\sqrt{\frac{٤\,\text{ض}}{٥ \times \text{ط} \times ٠٫٦٤}} = ٠٫٦٢٥ \times \text{ا}\sqrt{\text{ض}}$$

مثال — فى وابورات اللوكوموتيف سمك الصاج س = ١٣ مليمتر غالبا والضغط يقابل الى ٩ جوات وهذا يؤدى باعتبار ضغط الجو الى حمل مقدار ض = ٠٫٠٨٢٦ كيلوجراما بالنسبة للمليمتر المربع ويكون حينئذ

$$\sqrt{\text{ض}} = ٠٫٢٨٦ \quad \text{فاذا كان ا} = ١٠٠\ \text{مليمتر فيكون}$$

$$\text{ء} = ١٠٠ \times ٠٫٦٢٥ \times ٠٫٢٨٦ = ١٨٫٥\ \text{مليمتر}$$

فيعطى عادة القطر المذكور ٢٢ مليمتر تقريبا فى هذه الاحوال وهذا المقدار يقابل مقداراً للمقاومة قدره ٤ كيلوجرامات بالنسبة للمليمتر المربع وحينئذ فيما لو حسب على فرض أن المقاومة ٤ كيلوجرامات باعتبار ٩ جوات مع عدم تجاوز ا مقدار ١٢٠ مليمتر واستخراج مقدار ء ثانيا

فى الضغط

فى ضغط الأجسام المنشورية

اذا وقع على جسم منشورى قوة ضغط فى اتجاه محوره فأن طوله يقصر وعند البحث عن القانون الرابط بين كميات القصر والاحمال والقطاع متى كان طول المنشور قليلا وغير قابل للانحناء فأن القواعد تكون عين قواعد حالة الشد اعنى ان الانكماش أو القصر لَ يكون مناسبا طردا للطول ل للمنشور وللحمل ه الواقع عليه وعكسا للقطاع ب وللمعامل وَ الخاص بكل مادة ويمكن بيان ذلك بالارتباط

لَ = $\frac{ل ه}{ب وَ}$ أو

وَ = $\frac{ه}{ب} \div \frac{لَ}{ل}$

ويفهم من ذلك ان معامل المرونة وَ للضغط يكون عبارة عن النسبة الثابتة الواقعة بين الحمل المنسوب لوحدة السطح وبين الانضغاط أو القصر المنسوب لوحدة الطول

وهذا القانون لا يستعمل الا فى بعض حدود فيها لا يتجاوز الضغط نهاية المرونة وفى هذه الحالة يعود المنشور لطوله الأصلى عند حذف قوة الضغط الواقعة عليه ولا يحصل له انكماش ظاهر

وفى الحديد المتجاور نهاية المرونة المطابق بالنسبة لحديد الحمل يختلف من ١٥ الى ٢٨ كيلوجرام بالنسبة للمليمتر المربع الواحد فان الانكماشات المستديمة تأخذ فى الازدياد ومعامل المرونة وَ يتغير على حسب قاعدة غير منتظمة ليس لها اهمية حيث أنه لا يتجاوز فى العمل نهاية المرونة فقط

ويجب الاعتناء فى استعمال القوانين فى الحدود التى تكون فيها صحيحة ومتى صار الاعتناء بذلك فأنه لا يتوصل مطلقا الى نتائج غير صحيحة

والتجارب الخاصة بتعيين المعامل وَ قليلة وهذا المعامل بالنسبة للحديد هو تقريبا $\frac{٤}{٥}$ المعامل و الخاص بالشد والفرق بين هذين المعاملين بالنسبة لحديد الزهر قليل

وممارسة هذه الفروقات قليلة وليس لها اهمية كبيرة فى العمل وعلى العموم يفرض تساوى المعاملين و ، وَ أعنى أنه لا يوجد فى العمل ادنى فرق بين معامل المرونة للشد والضغط من حمل الكسر بالنسبة للضغط

احمال الكسر بالنسبة للضغط تتعلق على الخصوص بطول المناشير وفى الواقع لا يمكن فى بادئ الأمر معرفة كيفية حصول الكسر متى كان الضغط محكما فى محور الالياف لأنه متى كان طول الساق المتأثر بقوة الضغط كبيرا فأنه يحصل انثناء يحدث للكسر منسوب للشد لكن اذا لم يحصل الانثناء فأن الضغط يحدث استطالة جانبية وهى نوع من التمدد يميل لفصل العناصر المتجاورة بعضها عن بعض وتأتى حينئذ لحظة فيها يحصل الانفصال السابق ذكره والمادة تتكسر أو تتفتت وحينئذ يجب فى حالة الكسر بتأثير الضغط ان نميز حالتين

الاولى ان يكون طول المنشور المضغوط قصيرا جدا بحيث يكون غير كاف لحصول الانثناء

الثانية ان يكون طول المنشور المضغوط كبيرا بالنسبة لعرضه بحيث يكون كافيا لحصول الانثناء

الحالة الأولى — اذا فرض منشور قصير شكله مكعب تقريبا فان حمل الكسر أو التفتت يكون مناسبا للقطاع

للقطاع وغير متعلق بالطول فبالنسبة للحديد على العموم (المطروق والصاج وسلوك الحديد) فأن المقاومة للكسر بتأثير الضغط هي ⅘ المقاومة للكسر بتأثير الشد ولكن في العمل تعتبر المقاومة في الحالتين واحدة مع اعتبار معامل الأمن فيها ⅙ وملاحظة أنه أكبر حمل يمكن توقيعه على المليمتر المربع من القطاع العرضي للحديد هو ٦ كيلوجرام

وأما في الحديد الزهر فان المقاومة للكسر بالضغط أكبر من المقاومة للكسر بالشد وقد نتج من التجربة أن الأولى قدر الثانية خمس مرات ونصف ٥٫٥ أعني ٣٦ كيلوجرام بالنسبة للمليمتر المربع من القطاع العرضي المتوسط

لكن بناء على كون مادة الزهر غير متجانسة فقد جعل معامل الأمن له صغيراً بحيث لا يصير تشغيل الزهر بالضغط الا بخمسة كيلوجرامات على المليمتر المربع متى كان الحديد الزهر مستعملا في القناطر

وبالنسبة للقرو فأن المقاومة للضغط هي ⅔ ثلثاى المقاومة للشد أعني انها ⅔ × ٨٠٠ كيلوجرام أو ٥٣٣ كيلوجرام بالنسبة للسنتيمتر المربع

وبالنسبة لخشب الصنوبر والتنوب وجميع الاخشاب البيضاء فأن المقاومة للكسر بالضغط ليست الا نصف المقاومة للكسر بالشد أعني أنها من ٤٠٠٫٠ الى ٥٠٠٫٠ كيلوجرام بالنسبة للسنتيمتر المربع

وينتج من ذلك أنه بالنسبة للمقاومة يلزم استعمال خشب القرو أو البلوط في الضغط وخشب التنوب في الشد ومع ذلك فلا تتبع دائما هذه القاعدة حيث انه قد يلاحظ في الانشاء أحيانا الصلابة وأحيانا المصرف

الحالة الثانية متى كان طول المنشور كبيراً بالنسبة لعرضه فأن المقاومة تتناقص بسرعة جدا حيث أنه يحدث انثناء للساق المنشوري الذي يصير حينئذ نوع زنبلك على شكل قوس دائرة متأثر بقوة متجهة في اتجاه وتره

وقد ظهر من التجربة أن عمود الظهر الذي يختلف طوله من صفر الى خمسة امثال قطره ينكسر دائما بالتفتت البسيط وانه متى كان الطول محصورا بين ٥ ، ٢٥ مرة القطر فأن حادثة الكسر تكون مختلطة أي أنه يوجد في آن واحد تفتت بسيط وانثناء وأخيرا متى تجاوز الطول ٢٥ مرة القطر فيحصل دائما الكسر بالانثناء وبمجرد ابتداء الانثناء فانه يميل للازدياد بسرعة بمجرد حصول ازدياد الضغط ومتى كانت اطراف الاعمدة مثبتة فأنها تصير أقوى ثلاث مرات مما اذا كانت اطراف الاعمدة مطلقة ويمكن اجراء التثبيت من أعلى وأسفل بواسطة تيجان وقواعد مربوطة جيدا بالجاويطات

عند تساوي المادة المستعملة يكون من المفيد اعطاء العمود شكل انتفاخ في الوسط اذ بذلك يحصل ازدياد المقاومة بقدر السبع أو الثمن وذلك لأن هذا الشكل لا يسهل حصول الانثناء وعند تساوي المادة المستعملة فالعمد المجوفة تقاوم أكثر من العمد المصمتة وانما يجب ان يراعى الدقة في انتظام سمك العمدان المجوفة اذ بذلك تكون المقاومة قليلة

وهناك قانونين لمعرفة حمل الكسر في العمد المصمتة للحديد والظهر وضعا بالتجربة

$$ف = \frac{ق}{١٫٤٥ + ٠٫٠٠٣٣٧ \left(\frac{ل}{ق}\right)^{٢}}$$ بالنسبة لعمد الزهر

$$ه = \frac{ق}{١٫٥٥ + ٠٫٠٠٠٥ \left(\frac{ل}{ء}\right)^{٢}}$$ بالنسبة لعمد الحديد

وفي هذين القانونين ه رمز للحمل الحقيقي للكسر ، ق رمز لحمل الكسر المطابق لقطاع العمود باعتبار الضغط البسيط وهذا الحمل سبق التكلم عليه ، ل رمز لارتفاع العمود ، ء رمز لقطره ثم ان استعمال هذين القانونين لايكون صحيحا الا اذا كان الارتفاع على الاقل مساويا عشرين مرة القطر ويرى من القانونين المذكورين ايضا انه اذا كانت عمد الزهر اكثر مقاومة من عمد الحديد في الحالة الاعتيادية فانها تكون اقل مقاومة من عمد الحديد متى كان الارتفاع كبيرا جدا بالنسبة للقطر وعلى ذلك فتكون عمد الحديد حينئذ اكثر مقاومة من الأولى

في حساب القوائم الخشبية

قد نتج من التجارب التي عملت على القوائم الخشبية القوانين الآتية وهي

$ح = ك \times \frac{حـ^{٤}}{ل^{٢}}$ بالنسبة للقوائم المربعة

$ح = ك \times \frac{ا حـ^{٣}}{ل^{٢}}$ بالنسبة للقوائم المستطيلة

$ح = ٠٫٦ ك \times \frac{ء^{٤}}{ل^{٢}}$ بالنسبة للقوائم المستديرة

التي فيها ح رمز لحمل الكسر مقدرا بالكيلوجرام

ا رمز للضلع الاكبر للمستطيل مقدرا بالمتر

حـ رمز للضلع الأصغر للمستطيل أو لضلع المربع مقدرا بالمتر

ء رمز للقطر مقدرا بالمتر

ل رمز لطول القائم مقدرا بالمتر

ك رمز لمعامل مقدار يختلف بحسب انواع الأخشاب كالآتي

$ك = ٢٥٦٥ \times ١٠^{٦}$ بالنسبة للبلوط القوي

$ك = ١٨٠٠ \times ١٠^{٦}$ بالنسبة للبلوط الضعيف

$ك = ٢١٤٠ \times ١٠^{٦}$ بالنسبة للتنوب الأحمر والابيض القويين وبالنسبة للصنوبر الصمغي

$ك = ١٦٠٠ \times ١٠^{٦}$ بالنسبة للتنوب الأبيض الضعيف والصنوبر الأصفر

وبالنسبة للمباني ذات المدة الطويلة تقتضي تحميل القوائم بعشر مقدار حمل الكسر ح أعني بالمقدار $\frac{ح}{١٠}$ وأما بالنسبة للاشغال الوقتية فيمكن تحميل القوائم بخمس الحمل المذكور اعني بالمقدار $\frac{ح}{٥}$ وحمل الكسر بالنسبة لوحدة القطاع ب في كل من الحالتين السابقتين يعلم من القانون الآتي

$$\frac{ح}{ب} = ك \times \frac{حـ^{٢}}{ل^{٢}} = ك \left(\frac{حـ}{ل}\right)^{٢} = ك \times \frac{١}{م^{٢}}$$

بالنسبة للقوائم المستطيلية أو المربعة بجعل $\frac{ل}{حـ} = م$ وهي نسبة معلومة غالبا ثم من قانون

$$\frac{ح}{ب} = ٠٫٧٥ ك \frac{ء^{٢}}{ل^{٢}} = ٠٫٧٥ ك \left(\frac{ء}{ل}\right)^{٢} = ٠٫٧٥ ك \times \frac{١}{م^{٢}}$$

بالنسبة للقوائم المستديرة بجعل $\frac{ل}{ء} = م$ وهي نسبة معلومة كذلك

ومن

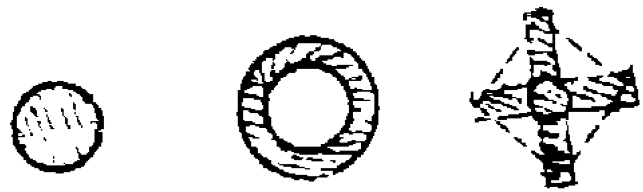
ومن هذين القانونين يمكن حساب مقادير الاحمال التي يمكن تحميلها على الوحدة السطحية مع الأمنية بالنسبة لجنس كل خشب مع فرض اختلاف طول الاعمدة م = ١٠ الى م = ٥ وجعل ك = ك/١٠

أعني ان ك = ٥٠٦، ك = ١٨٠ ، ك = ٢١٤ ، ك = ١٦٠ بحسب انواع الاخشاب

وذلك بالنسبة للمليمتر المربع أعني مع مراعاة معامل الأمن = ١/١٠

في حساب الأعمدة التي من الزهر

قد تصنع الأعمدة التي من الزهر اما مصمتة وأما مجوفة ومتى تجاوز قطر العمود ٠٠١ر٠ متر يكون من المعتبر على العموم جعله مجوفا ففي هذه الحالة الأخيرة تكون



حالة الزهر جيدة والثقل الكلي يكون قليلا بالنسبة للمتر الواحد تكون مقاومة الاعمدة المجوفة اعظم من مقاومة الأعمدة المصمتة

وغالبا يكون شكل الاعمدة المجوفة اما دائريا واما صليبيا ففي الشكل الأخير يكون مقدار القطر ء هو مقدار ضلع المربع ا ب حـ و وليس قطر ع وبناء على تجارب (المعلم هوديكنيون) قد علم ان حمل الكسر بالنسبة للأعمدة التي من الزهر وطولها لا يتجاوز خمسة امثال قطرها هو ٦٣ر٧ كيلوجرام بالنسبة للمليمتر المربع الواحد

وقد نتج من التجارب الجديدة التي عملها المعلم هوديكنيون على الاعمدة الطويلة التي يختلف طولها من ٣٠ الى ١٢٠ مرة القطر واعتبر فيها ان مقدار حمل الكسر على الوحدة السطحية يساوي ٣٣ ك ٨١ر ×١٠^٦ وان حمل الكسر يتعين من القانونين الآتيين

$$ح = ١٠٦٧٦ \times \frac{ء^{٣,٦}}{ل^{١,٧}} \quad \text{بالنسبة للعمد المصمتة}$$

$$ح = ١٠٦٧٦ \times \frac{ء^{٣,٦} - ءَ^{٣,٦}}{ل^{١,٧}} \quad \text{بالنسبة للعمد المجوفة}$$

اللذان فيهما ح رمز لحمل كسر العمود ، ء رمز لقطر العمود المصمت أو للقطر الخارج للعمود المجوف ، ءَ رمز للقطر الداخل للعمود المجوف ، ل رمز لطول العمود

مع الفرض في وضع القانونين المذكورين أن العمود ذات قواعد مستوية محدثة لنوع من التثبيت فاذا كانت القواعد المذكورة منحنية فان مقدار حمل الكسر يكون مبينا بالقانون الآتي

$$حَ = ٠٫٣٣ ح$$

وحينئذ يجب تعويض المعامل ١٠٦٧٦ بالمقدار ١٠٦٧٦ × ٠٫٣٣ = ٣٥٦٠

واذا كانت مقاومة الزهر المعلوم للكسر تختلف عن ٣٣ ك ٨١ر × ١٠^٦ فيلزم أيضا تغيير المعاملات السابقة نسبة م/٣٣ر٨١ الذي فيه م رمز للمقاومة للكسر وفي القانونين السابقين

ح تقدر بالكيلوجرام ، ء ، ءَ بالسنتيمتر ، ل بالديسيمتر

وبتحويل جميع الوحدات الى المليمتر وادخال معامل المقاومة للكسر بالنسبة للزهر المستعمل فأنه بالنسبة للعمد المصمتة يكون

$$ح = ١٠٦٧٦ \times \frac{م}{١٠^{٦} \times ٨١٫٣٣} \times \frac{(١٠)^{١٫٧}}{(١٠)^{٣٫٦}} \times \frac{ء^{٣٫٦}}{ل^{١٫٧}} = ٨٢٫٨٥ \frac{م}{١٠^{٦}} \times \frac{ء^{٣٫٦}}{ل^{١٫٧}} \ldots (١)$$

وبالنسبة للعمد المجوفة يكون

$$ح = ٨٢٫٨٥ \times \frac{م}{١٠^{٦}} \times \frac{ء^{٣٫٦} - ء_{١}^{٣٫٦}}{ل^{١٫٧}} \ldots\ldots\ldots (١')$$

والقانونان المذكوران لايمكن تطبيقهما بالضبط على العمد التي ارتفاعها لايصل ٣٠ مرة قطرها بل يجب تصليح النتائج التي تؤديانها وفي [illegible] يبتدأ باستعمالها كما لو كانا مضبوطين ويتحصل منهما على مقدار ح ثم بعد ذلك يبحث عن المقدار [illegible] بادخال مقدار ح المذكور في القانون

$$ح' = \frac{م ح}{ح + \frac{٣}{٤} م} = \frac{ح}{\frac{ح}{م} + ٠٫٧٥} \ldots\ldots (ب)$$

مع ملاحظة ان معامل المقاومة م الداخل في الثلاثة قوانين (١) ، (١') ، (ب) هو بالنسبة للمتر المربع

وفي العمل لايلزم تحميل الاعمدة الامقدار $\frac{١}{٤}$ أو $\frac{١}{٦}$ حمل الكسر بحيث يعمل الحساب بالبحث عن قطر العمود الذي يحمل بحمل مساوٍ الى اربعة امثال أو ستة امثال الحمل المطلوب حمله وحيث أنه لايمكن ان يعرف مقدما المقدار الذي يؤول اليه قطر العمود يجب استعمال القانون (ب) ولبيان ذلك نمثل بالمثل الآتي

مثال ـ اذا كان المطلوب معرفة قطر عمود مصمت من الزهر يحمل ١٠٠٠٠٠ كيلوجرام بفرض أن ارتفاعه = ٢ متر وأن المقاومة للكسر بالنسبة للمتر المربع هي $\frac{\text{كج}}{٧٥} \times ١٠^{٦}$

وأريد ان لايكون حمله الاخمس حمل الكسر فأن مقدار الحمل اللازم إدخاله في الحساب يكون مساويا الى ٥٠٠٠٠٠ أي أن ح = ٥٠٠٠٠٠ فان معادلة (١) تؤول الى

$$٥٠٠٠٠٠ = ٨٢٫٨٥ \times ٧٥ \times \frac{ء^{٣٫٦}}{٢٠٠٠^{١٫٧}} \quad \text{ولكن} \quad (٢٠٠٠)^{١٫٧} = ٤٠٩٠٢٥$$

وحينئذ يكون

$$ء^{٣٫٦} = \frac{٥٠٠٠٠٠ \times ٤٠٩٠٢٥}{٨٢٫٨٥ \times ٧٥} = ٣٢٩١٥٣٨٠ \quad \text{ومنها يحدث}$$

$$ء = ١٢٢٫٥ \text{ مليمتر}$$

وحيث ان القطاع المقابل للقطر المذكور هو ١١٧٨٠ مليمتر مربع فمقدار حمل الكسر بالنسبة للمليمتر المربع يساوي

$$\frac{٥٠٠٠٠٠}{١١٧٨٠} = ٤٢٫٥$$

وان الحمل الحقيقي يقابل الى $\frac{١٠٠٠٠٠}{١١٧٨٠} = ٨٫٥$

ولكن

ولكن بالنسبة لمقدار القطر المذكور يرى ان ارتفاع العمود أقل من ٣٠ مرة القطر بحيث أنه اذا استعمل القانون (ب) يرى ان حمل الكسر لايكون ٥٠٠٠٠ بل يساوى

$$\frac{50000}{\frac{50000}{7500000}+0.75} = \frac{50000}{0.75665} = 66000 \text{ كيلوجراما}$$

فيكون حينئذ مقدار القطر كبيرا عن المطلوب وحينئذ لتعيين القطر المضبوط يستخرج مقدار ح من القانون (ب) بأن يفرض فيه

$\bar{\text{ح}} = 50000$ وحينئذ يكون

$\text{ح} \times \acute{\text{ح}} + \frac{3}{4}\text{م} \times \acute{\text{ح}} = \bar{\text{ح}}\,\text{م}$ ومنها يحدث

$$\text{ح} = \frac{\frac{3}{4}\bar{\text{ح}}\,\text{م}}{\text{م} - \acute{\text{ح}}} = \frac{\frac{3}{4}\bar{\text{ح}}}{1 - \frac{\acute{\text{ح}}}{\text{م}}}$$ ويكون

$$\text{ح} = \frac{50000 \times \frac{3}{4}}{1 - \frac{50000}{610 \times 75}} = 400000$$

وبوضع مقدار ح الأخير في معادلة (١) يكون مقدار القطر الموافق هو $\text{د} = 0.115$ ملليمتر

ولتعيين الضغط الواقع على وحدة القطاع يقال انه من قانون

$\text{ح} = 82.85 \times \frac{\text{م}}{610} \times \frac{\text{د}^{3.6}}{\text{ل}^{1.7}}$ السابق يحدث

$$\frac{\text{ح}}{\text{ب}} = \frac{\text{ح}}{\frac{\text{ط}}{4}\text{د}^2} = \frac{82.85}{\frac{\text{ط}}{4}} \times \frac{\text{م}}{610} \times \frac{\text{د}^{1.6}}{\text{ل}^{1.7}}$$

فاذا جعل $\frac{\text{ح}}{\text{د}} = \frac{\text{م}_1}{610}$ وهى عبارة عن مقاومة العمود بالنسبة للمليمتر المربع من القطاع وحسب مقدار $\frac{82.85}{\frac{\text{ط}}{4}} = 105$ يحدث

$$\text{م} = \frac{\text{م}_1}{\text{م}} = 105 \times \frac{\text{د}^{1.6}}{\text{ل}^{1.7}}$$

وهذا القانون يكون صحيحا اذا كان $\text{ل} > 30\text{د}$ وفيه د، ل مقدران بالمليمترات وبهذه الكيفية يمكن ان يتحقق قبل كل حساب من تحويل المقاومة الذى ينتج من النسبة المختلفة بين الطول والقطر وان ترسم منحنيات مقادير م بالنسبة للمقادير المختلفة لأطوال الأعمدة وللمقادير المختلفة لاقطارها

والاعمدة التى لها قواعد وتيجان مثبتة جيدا وبطات تزيد مقاومتها بقدر الثلث عن الحالة التى تكون فيها العمد ذات قواعد مستوية لكنها غير مرتبطة بالاجسام المجاورة لها بحيث اذا كانت مقاومتها مساوية للواحد تصير ١٫٣٣ بعد ادخال القواعد والتيجان للأعمدة

وقد شوهد انه اذا كان طرفا العمود منحنيين فالمقاومة تصير الثلث وحيث ان النسبة $\frac{1.33}{0.33} = 4$

فينتج من ذلك ان مقاومة العمود المثبت تكون اربعة امثال مقاومة العمود الذى يكون طرفاه منحنيين
ثم ان الانتفاخ المعمارى للعمد بالقرب من وسط ارتفاعها يزيد المقاومة من السبع الى الثمن
وبناء على القانون (٢) السابق وهو

$$ح = ٨٢ر٨٥ \times \frac{م}{١٠} \times \frac{ء^{٢ر٦} - ءَ^{٢ر٦}}{ل^{١ر٧}}$$

يرى ان مقاومة العمود المجوف عبارة عن الفرق بين مقاومتى عمودين مصمتين قطراهما ء ، ءَ على التناظر وارتفاعهما المشترك ل
والاسماك التى مقدارها اصغر ما يمكن المكن اعطاؤها للعمد المجوفة تعلم من الجدول الآتى

ارتفاعات	٢ الى ٣ متر	٣ الى ٤ متر	٤ الى ٦ متر	٦ الى ٨ متر
اسماك	٠ر٠١٢ متر	٠ر٠١٥ متر	٠ر٠٢٠ متر	٠ر٠٢٥ متر

وقد وضع المعلم لوف القانون الآتى الذى حقق نتائج المعلم هودكنسيون وهو

$$\frac{ح}{س} = \frac{م}{١ر٤٥ + ٠ر٠٠٣٧ \left(\frac{ل}{ء}\right)^{٢}}$$

الذى فيه $\frac{ح}{س}$ منسوبة لعين وحدات السطح المنسوبة لها م وتدل على نوع المقاومة عينها بمعنى انها تدل على المقاومة للكسر او المقاومة للامن الخ ، ل ، ء مقداران بوحدة من جنس الوحدة السابقة
وهذا القانون يطبق على جميع عمد الزهر التى طولها يختلف من اربعة الى ١٢٠ مرة القطر
ومتى كان الارتفاع متغيرا من ٥ الى ٣٠ مرة القطر فأن المعلم لوف وضع القانون البسيط الآتى

$$\frac{ح}{س} = \frac{م}{٠ر٦٨ + ٠ر٠١ \left(\frac{ل}{ء}\right)}$$

نفرض ان م = ١٢ر٥ كيلوجرام على المليمتر المربع بمعنى انه سدس حمل الكسر وهو ٧٥ كيلوجرام وحينئذ فيمكن عمل جدول مشتمل على مقادير $\frac{ح}{س}$ بالنسبة لمقادير $\frac{ل}{ء}$
وقد رأينا ان مقاومة الزهر للضغط اكبر من مقاومته للشد بالنسبة للنوع الواحد من الزهر والنسبة بين هاتين المقاومتين تختلف قليلا الا انها على العموم قريبة جدا من ٦ر٥ الى ٧
وعلى فرض ان النهاية العظمى لمقاومة الزهر هى ٧٥٠٠ كيلوجرام بالنسبة للسنتيمتر المربع وتشغيله بسدس تلك المقاومة اعنى ١٢٥٠ كيلوجرام بالنسبة للسنتيمتر المربع فأن المعلم لوف وضع القانون الآتى بالنسبة للحمل الذى يحمله العمود بكل امن

$$ح = \frac{١٢٥٠ \times س}{١ر٤٥ + ٠ر٠٠٣٣٧ \left(\frac{ل}{ء}\right)^{٢}} \quad \ldots\ldots (٥)$$

الذوفيم

الذى فيه ح رمز للحمل الذى يحمله العمود مع الأمن ، $\text{ب} = \frac{\text{ط ء}^{٢}}{٤}$ مع ملاحظة أن القانون المذكور يطبق على الحالة التى فيها ارتفاع العمود يختلف من ٤ الى ١٢٠ مرة القطر وهو بالنسبة للعمود المصمت وأما بالنسبة للعمود المجوف فيستعمل القانون الآتى مع ملاحظة ان $\text{بَ} = \frac{\text{ط ءَ}^{٢}}{٤}$

وهو $\text{ح} = \frac{١٢٥٠ \times \text{ب}}{١٫٤٥ + ٠٫٠٠٠٣٣٧ \left(\frac{\text{ل}}{\text{ء}}\right)^{٢}} - \frac{١٢٥٠ \times \text{بَ}}{١٫٤٥ + ٠٫٠٠٠٣٣٧ \left(\frac{\text{ل}}{\text{ءَ}}\right)^{٢}}$ ...... (هَ)

وفى كل من قانونى (هـ)،(هَ) مقادير الارتفاع ل والاقطار (ء)،(ءَ) مقدرة بالسنتيمتر وأما ح فهو الحمل الذى يحمله العمود بكل أمن ويقدر بالكيلوجرام

وإذا فرض فى قانون (هـ) ان ب = ١ وأعطى للنسبة $\frac{\text{ل}}{\text{ء}}$ المقادير من $\frac{\text{ل}}{\text{ء}} = ٥$ الى $\frac{\text{ل}}{\text{ء}} = ١٢٠$ فأنه يمكن بسهولة حساب حمل الأمن الواقع على السنتيمتر المربع من قطاع العمود المصمت وقد نتج من تجارب المعلم هودكنسون ما يأتى

أولا ان المقاومة للكسر لحامل تؤول الى الثلث على الأقل متى كان الحمل الواقع على الحامل المذكور متجها فى اتجاه القطر وليس فى اتجاه المحور

ثانيا ان مقاومة الحوامل الطويلة تكون أكبر بثلاث مرات متى كانت اطراف الحوامل مستوية وعمودية على المحور وعلى اتجاه الحمل مما اذا كانت اطرافها منحنية

ثالثا ان الحامل الطويل ذا القطاع المنتظم الذى طرفاه مثبتان جيدا فى أقراص قواعد أو مثبتات بطريقة أخرى تكون مقاومته عين مقاومة الحامل الذى طرفاه منحنيان المتحد معه فى القطاع العرضى وارتفاعه نصف ارتفاع الحامل المفروض

رابعا ان انتفاخ الاعمدة نحو وسط ارتفاعها لا يكبر مقاومتها الا من الثمن الى السبع من $\frac{١}{٨}$ الى $\frac{١}{٧}$

فى حساب الاعمدة والحوامل المتخذة من الحديد

الضغط على الحديد حيث تغيرا فى الشكل مناسبا للحمل لغاية ١٨ كيلوجرام فى النهاية العظمى ومقدار معامل المرونة يساوى ١٦٢٩٥٠٠٠٠٠٠ وهذا المقدار يختلف قليلا عن مقدار معامل المرونة فى حالة الشد وهو ضعف معامل مرونة الحديد الزهر وحينئذ بالنسبة للحمل الواحد فأن الحديد يتغير شكله اقل من الزهر

والمعلم لوف قد وضع القانون الآتى وهو

$$\frac{\text{ح}}{\text{ب}} = \frac{\text{م}}{١٫٥٥ + ٠٫٠٠٠٥ \left(\frac{\text{ل}}{\text{ء}}\right)^{٢}} \quad \ldots\ldots\ (\text{أ})$$

وهذا القانون منطبق على الحالة التى فيها $\frac{\text{ل}}{\text{ء}}$ محصور بين ٥ ، ١٢٠ ثم وضع القانون الآتى أيضا بالنسبة للحالة التى فيها $\frac{\text{ل}}{\text{ء}}$ محصور بين ٥ ، ٣٠ وهو

$$\frac{\text{ح}}{\text{ب}} = \frac{\text{م}}{٠٫٨٥ + ٠٫٠٤ \left(\frac{\text{ل}}{\text{ء}}\right)} \quad \ldots\ldots\ (\text{ب})$$

ويمكن عمل جدول لمقادير $\frac{ح}{ج}$ بعد معلومية مقادير $\frac{ل}{ء}$ مع اعطاء مقدار معين للكمية م ثم ان القانونين السابقين يستعملون بالنسبة للعمد التى من الحديد فى أجزاء القناطر المعرضة للفتت بحيث لا يمكنها تنثنى بسبب التراكيب والاحتراسات المستعملة فى انشائها ويمكن حينئذ تحميلها بمقدار ٨ الى ١٠ كيلوجرام بالنسبة للمليمتر المربع مع غاية الأمن

ونفرض ان المقاومة الاعظم ما يمكن للحديد هى ٣٦٠٠ كيلوجرام على السنتيمتر المربع وصار تشغيله لسدس المقاومة للكسر اعنى بمقدار ٦٠٠ كيلوجرام بالنسبة للسنتيمتر المربع فقانون (٢) يؤول الى

$$ح = \frac{٦٠٠\ ب}{١٫٠٠ + ٠٫٠٠٠٥ \left(\frac{ل}{ء}\right)^{٢}} \quad \ldots\ldots \quad (٢)$$

الذى فيه ح رمز الحمل الذى يحمله العمود مع الأمن مقدرا بالكيلوجرام وأما ل ، ء فيقدران بالسنتيمتر

فى حساب الخوازيق

الخوازيق الخشبيه المستعملة فى التأسيس الممسوكة من جميع الجهات بالأرض المغروسة فيها تحمل بأمن عظيم ٠٫٣٠ × ٦٠ كيلوجرام على المتر المربع وهذا هو المقدار التى تحمل به عادة ويقتضى ان تكون الخوازيق من خشب البلوط أى القرو حيث ان هذا الخشب يحفظ جيدا فى الماء وفى الأرض الرطبة

فى مقاومة الأحجار للضغط

قد علم بالتجربة ان مقاومة الأحجار تقل كلما زاد الارتفاع وقد أجرى رونلدى تجربة على عمود من حجر مكون من ثلاثة مداميك مكعبة الشكل وعلم من مناقشة النتائج ان المقاومة للفتت تنقص كلما زاد عدد المداميك ولا تتعلق بالارتفاع اذا كان العمود مركبا من ثلاثة مداميك وعند هذه النهاية تصير المقاومة للكسر او الفتت نصف مقاومة المدماك الواحد ومع هذا فان هذه النتيجة لا يمكن استعمالها الا بالنسبة للارتفاعات القليلة لان الدفع الافقى الذى يمكن حصوله فى الابنية قد يؤثر على صلابة الانشاء اكثر من الأحمال التى تميل لاحداث الكسر بالضغط

وقد ظهر من التجارب العديدة النتائج الآتية

اولا ان الاوصاف الطبيعية للأحجار كالاندماج واللون والكثافة ليست كافية لمعرفة المقاومة للتفتت بالضبط

ثانيا فى اى محجر تكون الاحجار التى تحصل من الجزء الأعلى والجزء الأسفل أقل مقاومة من التى تستخرج من الجزء المتوسط

ثالثا بالنسبة للنوع الواحد من الحجر تكون المقاومة أكبر كلما كان شكل القطعة الى المكعب أقرب

رابعا

رابعا ان مقاومة الحوامل الحجرية تتناقص كلما كانت مكونة من اجزاء اكثر عددا

خامسا لا تحمل الابنية المصنوعة من احجار النحت الاجزء من عشرة من حمل الكسر والتي من الدبش لا تحمل الاجزء من عشرين وهناك جدول لا يحتوى على احمال الكسر بالنسبة للضغط وعلى ثقل المتر المكعب من انواع الاحجار والطوب والمونة والبنا

انواع المــــواد	ثقل المتر المكعب بالكيلوجرام	حمل الكسر على السنتيمتر المربع بالكيلوجرام	ملحوظات
جرانيت ازرق بريطانى	٢٧٤٠	٦٥٠	هذا النوع من الاحجار بعض انواع الاحجار الطفلية
« « من جبال فوسيج	٢٦٤٠	٤٢٠	
جرانيت نورماندى (فلاوما نقيل)	٢٧١٠	٧٠٧	
جرانيت نورماندى	٢٦٦٠	٧٠٠	
حجر بركانى صلب (من فيزوف)	٢٦٠٠	٥٩٠	
حجر بركانى طرى	١٩٧٠	٢٣٠	
بورفير	٢٨٧٠	٢٤٧٠	
رخام اسود	٢٧٢٠	٧٩٠	هذا النوع من الاحجار بعض انواع الاحجار الجيرية
رخام آخر	٢٦٠٠	٦٠٠	
حجر بانيو	٢٧٧٠	٧٣١	
حجر طرى	٢٠٨٠	١٣٠	
حجر سانكور من الدرجه الاولى	٢٤١٠	١٤٠	
حجر سانكور « « الثانيه	٢٢٩٠	١٢٠	
حجر سانكور « « الثالثه	٢١٠٠	٩٠	
حجر رملى	١٨٨٠	١٨٠	
حجر جيرى من مصر عتيقه (القاهره)	٢٦٠٠	١٠٥٠	
حجر جيرى من طره	٢٤٠٠	٠٥٤٠	
حجر طرى من قرجليه	١٨٢٠	٦٠	
حجر آخر	١٥٠٠	٤٢	
حجر جيرى اصفر من جوموت	٢٢٠٠	١٨٠	
حجر آخر	٢٠٠٠	١٢٠	
حجر جيرى طرى	١٧٠٠	٣٦	
حجر آخر	١٥٦٠	٢٠	

انواع المواد	ثقل المتر المكعب بالكيلوجرام (من)	ثقل المتر المكعب بالكيلوجرام (الى)	مقاومة السنتيمتر المربع بالكيلوجرام (من)	مقاومة السنتيمتر المربع بالكيلوجرام (الى)	ملحوظات
احجار جريس	٢١٠٠	٢٥٧٠	٣٠٠	٨٠٠	نوع الاحجار السليسيه أى الرمليه
احجار الطواحين			٣٠٠	٧٥٠	
طوب محروق جيد من بورجونيا	٢٢٠٠		١٥٠		
« « « من سرقيل	٢١٠٠		١٢٥		
طوب محروق من مونترو	١٧٨٠		١١٠		
طوب محروق من باريس	١٥٢٠		٩٠		
طوب مجوف			٥٠	٧٠	
جبس معجون بالماء يشك بعد ٣٠ ساعه	١٥٧٠		٥٢		هذا النوع هو المعمول
جبس معجون بلبن الجير أو ماء الجير	«		٧٣		
مونة مكونة من الجير الدسم والرمل	١٦٠٠		٣٥		
مونة مكونة من الجير والسمنت المحصل من الطين المحروق	١٤٦٠		٤٨		
مونة مكونة من الجير الايدروليكي والرمل	«		٧٤		
« « « الايدروليكي جدا والرمل	«		١٤٤		
مونة مكونة من السمنت الرومانى من قاس والرمل	«		١٥٥		
مونة معتاده	«		١٦	٢٥	

نوع المواد	ثقل المتر المكعب بالكيلوجرام (من)	ثقل المتر المكعب بالكيلوجرام (الى)	مقاومة السنتيمتر المربع بالكيلوجرام (من)	مقاومة السنتيمتر المربع بالكيلوجرام (الى)	ملحوظات
بنا بحجر الآله	٢٤٠٠	٢٧٠٠	٣٠	٤٠	انواع البنا
بنا بالدبش	٢١٠٠	٢٢٥٠	١٤	٢٠	
بنا بالخرسانة بمونة معتاده	٢٣٠٠	٢٤٠٠		٥	
بنا بالخرسانة والمونة اسمنت	٢٣٠٠	٢٤٠٠	١٠	١٤	
بنا بالطوب بمونة معتاده	١٧٠٠	١٨٠٠		٦	
بنا بالطوب والمونة اسمنت	١٧٠٠	١٨٠٠		١٠	

الحمل المستعمل عادة للمواد الداخلة فى البنا لا يجب ان يتجاوز عشر ١/١٠ حمل الكسر ولا يجب ان يصل الى السدس ١/٦ الا فى المبانى الخفيفة جدا التى لا ينتظر مكثها كثيرا وأما فى البنا بالدبش الذى فيه نسبة المونة كبيرة جدا وابعاد الدبش قليلة لا يجب ان يتجاوز الحمل المستعمل (اى حمل الامن) النهايات المحصورة بين ١/١٠ ، ١/١٥ من حمل الكسر وأما حمل الامن بالنسبة للبنا بالطوب فهو ١/١٠ أى عشر حمل الكسر وذلك بسبب انتظام شكل الطوب الذى ينشأ عنه توزيع جيد للضغوط

فى مقاومة الاراضى

الاراضى التى كانت مزروعة والتى كانت منقولة ليست على العموم صلبة ولا مندمجة بالكفاية حتى يمكن البنا عليها مباشرة بل يقتضى رفعها حتى توجد طبقات مندمجة جدا بسبب عمقها أو بسبب مقاومتها فتكون جيدة فهذه الطبقات تسمى بأرض جيده

ومتى لم توجد الارض الجيدة على عمق قليل من سطح الارض فتستعمل طرق التأسيس المدونة فى الكتب الخاصة بالمبانى وبالقناطر والجسور والارض الجيدة التى يمكن البنا عليها تنحصر فى ثلاثة انواع

الأول ـ الأراضى الصخرية والأراضى الحجرية الجافة والاراضى التى بها مصاطب حجرية يمكن البنا عليها مباشرة ولا يخشى من قلة المقاومة حيث ان سمقا ومتها تكون دائما أكبر من مقاومة الحيطان والاكتاف التى تبنى عليها وذلك بسبب اتساع قطاعها الافقى اتساعا عظيما

الثانى ـ الاراضى الزلطية والرملية وهذا النوع من الاراضى كثير المقاومة ما لم يكن حصل فيه حركة مائية احدثت تقليل مقاومته ويمكن تحميله مع الامن لغاية اربعه ٤ كيلوجرام على السنتيمتر المربع فى النهاية العظمى

الثالث الاراضى البكر أو الطينة الطبيعية التى لم يحصل تحريكها قط ولا تحتوى على جذور النباتات ـ هذا النوع من الاراضى ان كان خاليا من الرطوبة والينابيع يكون ذات صلابة كافية لأن يؤسس عليه بيوت للسكن وورش للصناعة ويمكن تحميله مع الأمن بمقدار ٢ر٠ كيلوجرام على السنتيمتر المربع فى النهاية العظمى

فى مقاومة القزانات ومواسير التوصيل

قزانات البخار ـ القزانات ذوات النيران الخارجة التى تسمى بالقزانات الفرنساوية تتركب من اسطوانات تنتهى بقطع كروية ويوجد فى هذا النوع من القزانات ثلاث مقاومات يجب اعتبارها

اولا ـ المقاومه فى اتجاه الرواسم

ثانيا ـ المقاومه فى اتجاه قطاع عرضى

ثالثا ـ المقاومه فى القاع

الحالة الاولى ـ يحسب سمك القزان بالقانون الآتى مقدرا بالملليمترات

س = ٤١ر٨ (ن - ١) + ٣

الذى أصله

$$\text{س} = \frac{\text{نق} \times \text{ض}}{\text{ر}} = \frac{\text{١٠٣٣٠}}{\text{ر}} \times \frac{\text{ء}}{\text{٢}} (\text{ج} - \text{١})$$ قبل ان يضاف اليه ٣ مليمترات

وفيه س رمز لسمك القزان ، ء رمز لقطر الداخل مقدرا بالمتر ، ج رمز لعدد الجوات
وأما اذا كان القزان من الصلب فأن سمكه يكون نصف سمك القزان الحديد المستخرج من القانون السابق

واذا كان القزان من الحديد لكن غير معرض لحرارة النار مباشرة كقزان اللوكوموتيف مثلا فيكون سمكه $\frac{\text{١}}{\text{٢}}$ السمك الناتج من القانون المذكور أيضا (١ ر = ٨٠،) كيلوجرام فى القانون السابق على المليمتر المربع)

الحالة الثانية - بالنسبة لهذه الحالة يحسب السمك س من القانون

$$\text{س} = \text{نق} \times \frac{\text{ض}}{\text{٢} \times \text{ر}}$$

الذى فيه نق رمز لنصف قطر القطاع العرضى من الداخل ، ض رمز للضغط على المليمتر المربع مقدرا بالكيلوجرام ، ر رمز لمعامل المقاومة
والسمك الذى يحسب بهذا القانون هو نصف السمك المحسوب فى الحالة الأولى ويجب عند انشاء القزانات ان يكون اتجاه تصفيح الصاج موازيا لرواسم الاسطوانة حيث ان الصاج يقاوم فى هذا الاتجاه زيادة عن المقاومة التى يقاومها فى الاتجاه العمودى للصفيح

الحالة الثالثة - يحسب السمك فى هذه الحالة بالقانون

$$\text{سَ} = \text{نقَ} \times \frac{\text{ض}}{\text{٢ر}}$$

الذى فيه سَ رمز لسمك القزان فى جهة القاع ، نقَ رمز لنصف قطر انحناء القاع وأما ض ، ر فهما كما فى القانون السابق
وعادة يصنع القاع من صاج من جنس صاج جسم القزان وحينئذ يكون س = سَ وبناء على ذلك يكون

$$\text{نقَ} \times \frac{\text{ض}}{\text{٢ر}} = \frac{\text{نق} \times \text{ض}}{\text{ر}}$$ ومنها ينتج أن

$$\text{نقَ} = \text{٢نق}$$

ويرى من ذلك ان نقَ يكون ثابتا وعليه فيكون القاع كرويا ، نقَ يساوى قطر القزان متى أريد جعل مقاومة القاع مثل مقاومة جسم القزان

فى مقاومة الأحواض

الاحواض تصنع عادة من الصاج أو من الخشب أو من الزنك وشكلها يكون على الدوام اسطوانيا حيث أنه هو الشكل الذى يقاوم أعظم ما يمكن وأما القاع فأنه يكون كرويا حيث أن الشكل الكروى هو أعظم شكل يمكن اعطاؤه للقاع ومع ذلك قد يصنع فى كثير من الاحواض

قاع الأحواض مستويا وفى هذه الحالة يجب حمل القاع المذكور على حامل
وحيث أن الواح الصاج عرضها يختلف من ١ متر الى ١٫٥ متر تقريبا فيلزم حساب سمك الحلقات المتتابعة
كما فى القزانات بالقانون

س = نق × ضه/ر وهنا ضه = ١٠٠٠ × هـ

بفرض أن الحوض معد للمياه ثم يضم على هذا القانون مقدار ثابت فيؤول الى

س = ١٠٠٠هـ/ر نق + ٠٫٠٠٢٥ متر

وهـ رمز لعمق الماء فى الحوض مقدرا بالابتداء من القاع وسمك القاع المستوى هو عين سمك الصاج السفلى
وبالمثل يكون سمك القاع المحنى عين سمك الصاج السفلى متى كان نصف قطر انحناء القاع وهو

نقَ = ٢ نق أو كان نقَ > ٢ نق

وفى القانون السابق وهو س = نق × ضه/ر

ضه ، ر منسوبان لوحدة واحدة ، س تقدر بجنس الوحدة المقدر بها نق
وعندما يكون قاع الحوض مستويا يجب وضعه على تلويحة من الخشب ظاهرة للعيان حتى تتيسر المسمرة
وأما القاع المحنى فلا يلزم له شئ واذا كان نصف قطر انحنائه نقَ = ٢ نق
فسمكه يكون مساويا لسمك الصاج الاسفل كما ذكر وأما اذا كان نقَ يختلف عن ٢ نق فالأصوب حساب
سمكه من القانون

س = نقَ × ١٠٠٠هـ/(٢ × ر) + ٠٫٠٠٢٥ متر

فى مقاومة مواسير توصيل المياه والبخار

حيث ان شروط مقاومة مواسير التوصيل عين شروط مقاومة القزانات فيمكن حساب سمكها بقانون مشابه
لحساب سمك القزانات وهو

س = (١٠٣٣٠ × ع)/ر × د/٢ + أ

وقد استعمل فى هذا القانون ع بدلا عن (ع-١) لاجل زيادة السمك حيث ان نصف قطر المواسير صغير عن
قطر القزانات

ويمكن وضع القانون السابق على الصورة الآتية

س = ك × د × ع + أ بجعل

ك = ١٠٣٣٠/(٢ر) = ٥١٦٥/ر

وهاك جدولا مشتمل على مقادير ك ، ر ، أ بالنسبة لنوع المواد المختلفة التى تتركب منها مواسير
التوصيل

أنواع المـــواد	ر	مليمتر ا	ك
	ك جرام		
زهر مصبوب افقى	٢٫٥ × ١٠^٦	١٠	٠٫٠٠٢٠٠
زهر مصبوب رأسى	٣٫٢٥ × ١٠^٦	٨	٠٫٠٠١٦٠
حـديد	٦٫٠٠ × ١٠^٦	٣	٠٫٠٠٠٨٦
نحاس أحمر	٣٫٥ × ١٠^٦	٢	٠٫٠٠١٤٧
رصاص	٠٫٤٠ × ١٠^٦	٣	٠٫٠١٢٩٢
خارصين (زنك)	٠٫٨٣ × ١٠^٦	٤	٠٫٠٠٦٢٠
خشب (قرو أو غرغاج)	٠٫١٦ × ١٠^٦	٢٧	٠٫٠٣٢٣٠
احجار طبيعية	١٫٤٠ × ١٠^٦	٣٠	٠٫٠٠٣٦٣
أحجار صناعية أو خراسانة مندمجة	٠٫٩٠ × ١٠^٦	٤٠	٠٫٠٠٥٣٨

ومقادير ك فى هذا الجدول على فرض ان ء مقدرة بالمليمتر فى القانون

س = ك ء ن + ا

وحينئذ بالنسبة لمواسير الزهر المعتبر فيها الضغط على عشرة جوات (١٠ جو) أى ان ن = ١٠ فاذا كانت تلك المواسير مصبوبة افقيا يكون

س = ١٠ + ٠٫٠٢ × ء فاذا كان ء = ٢٠٠٫٠ مليمتر يكون

س = ١٤ ميليمتر

واذا كانت مواسير الزهر مصبوبة رأسيا يكون

س = ٨ + ٠٫٠١٦ × ء فاذا كانت ء = ٤٠٠٫٠ مليمتر يكون

س = ١٤٫٤ مليمتر

وقد تصنع مواسير توصيل المياه أيضا من الصاج المدهون بمادة اسفلتية والقانون المستعمل لحساب سمك تلك المواسير هو

س (مليمتر) = ٠٫٠٠٤٥ × ء + ٠٫٦

ويمكن ان يستعمل بالنسبة للمواسير ذات الاقطار الكبيرة التركيب المستعمل للغلايات البخارية

ومواسير توصيل البخار تصنع عادة من الحديد الزهر أو من الحديد أو من النحاس فأما مواسير الزهر فتحسب كما فى مواسير الزهر المستعملة للمياه واما مواسير الحديد حيث انها تجمع مع بعضها اما بالتقارب من بعضها واما بالتغطية فالنوع الأول يكون سميكا ويحسب بالقانون س = ك ء ح + ا السابق بجعل ر = ٦٫٠ (

ا = ٤٫٠

، ا = ٠ر٤٠ ميليمتر تقريبا

وقد يمكن حساب سمك هذا النوع من المواسير الحديد بالقانون التجربي

س = ٠ر١٣٥ √ء ميليمتر

وأما مواسير الحديد المجمعة بالتغطية فهي رقيقة وتحسب بالقانون

س = ك ء ع + ا

بأن يعطى الى ا مقدار ٠ر٠٠٢ ميليمتر على الأكثر وأما المواسير التي من النحاس الأحمر تصنع ملحومة أو غير ملحومة فمتى كانت غير ملحومة يمكن ان يجعل في آن واحد

ر = ٠ر٥ × ١٠^٦ كجرام ، ا = ٠ر٠٠١ متر

وذلك بسبب كثرة انتظام مقاومتها وجودة نحاسها

وأما المواسير الحديد والنحاس والنحاس الأصفر الداخلة في تركيب القزانات ذات المواسير كقزانات اللوكوموتيف مثلا فلا يلزم لها حساب بل انها تصنع رقيقة ما أمكن فمواسير اللوكوموتيف التي قطرها ٠ر٥ ميليمتر سمكها ٢ر٥ ميليمتر مع كونها تكون متأثرة بضغط قدره ٠ر١ جو أو بضغط ٠ر٢ جو عند تجربة القزان

ومعامل مقاومة المعدن بالنسبة للتجربة هو ر = ع ء / ٢ س × ده وهو مستخرج من قانون

س = ع ء × ده / ٢ ر أو ر = ٢٥ / ٢ر٢٥ × ٢٥٠٠٠٠ = ٢ر٧٧٥ × ١٠^٦

وبالنسبة لتشغيل القزان يكون

ر = ٢٥ / ٢ر٢٥ × ١٠٠٠٠٠ = ١ر١١ × ١٠^٦

وأما بالنسبة للمواسير الصلب التي سمكها ليس الا ١ر٥ ميليمتر يكون معامل مقاومتها

ر = ٢٦ر٥ / ١ر٥ × ١٠٠٠٠٠ = ١ر٧٦٥ × ١٠^٦

وانما للآن لا يوجد تجارب كافية للتحقق من عدم ظهور عيوب لهذه المقاومة

وأما مواسير توصيل الغاز لا تحسب بالنسبة للمقاومة التي يلزم ان تقاومها حيث ان المقاومة المذكورة ضعيفة جدا

في مقاومة اسطوانات الآلات البخارية

هذه الاسطوانات تصنع من الزهر الصلب والمندمج ويلزم ان تكون سميكة نوعا ليس فقط من اجل مقاومة ضغط البخار بل أيضا من أجل مقاومتها وعدم حصول لها أدنى تغير في شكلها من العدد أو الجنازير التي تستعمل لتثبيتها على آلة المثقاب وخلافه وقد يتوصل الى ابعاد موافقة بالنسبة لهذه الأحوال بجعل في القانون

س = ١٠٣٣٠ × ع × ء / ٢ ر + ا أن ر = ٠ر٨٥ × ١٠^٦ كجرام ، ا = ١٢ ميليمتر

وأما بالنسبة للاسطوانات الجيبية يمكن ان يجعل ر = ٠ر٠١ كجرام

وحينئذ فالقانون يؤول الى

س = ٠ر١٦٥ / (٠ر٨٥ × ١٠^٦) × ع × ء + ١٢ = ٠ر٠٠٦ × ع × ء + ١٢ ميليمتر أو

س = ٠ر٠١٢ (ع × ء / ٢ + ١٠٠٠) = ٠ر٠١٢ (ع ء + ١٠٠٠)

وحينئذ فسمك اسطوانة البخار التى قطرها ٠,٥ ميلمتر وضغط البخار فيها ٦ جو يكون

س = ٠,٠١٢ (٦×٥٠٠ + ١٠٠٠) = ٠,٠١٢ (٥٠٠ + ١٠٠٠) أو

س = ٠,٠١٢ × ٢٥٠٠ = ٣٠ ميلمتر

في مقاومة جسم المضغط الايدروليكي

أجسام المضاغط الايدروليكية تصنع عادة من الزهر لاجل ان يتحصل بالسهولة على الاشكال اللازم اعطاؤها لها ومع ذلك فمن الممكن جعلها الآن من الحديد المطروق الذى به يمكن الوصول الى ضغوط كبيرة جدا والحصول على زيادة في الأمنية عن الزهر حيث أن الزهر في الغالب يكون فيه بعض مسامات ينتقل منها الضغط الى داخل جدران المضغط ويحدث كسر

وسمك اسطوانة المضغط الايدروليكي تحسب أيضا بالقانون

س = ق × ض/ر + ٠,٠١ ميلمتر

وقد نتج من التجربة انه متى كان الزهر جيدا يمكن ان يجعل ر = ٦ كيلوجرام مع الأمن وقد يستصوب عدم جعل قطع الزهر سميكة كثيرا حيث ان السطح في القطع السميكة من الزهر يتصلب قبل الوسط ويكون هذا الجزء عديم المقاومة والمضاغط الايدروليكية التى استعملت في رفع قنطرة بريطانيا (على بوغاز موري في بسكك حديد شيستر في هوليهاد) المنشية في عام ١٨٤٩ هو اكبر جميع المضاغط الايدروليكيه التى عملت ولنذكر ابعادها هنا فنقول

قطر المكبس المطاول	٠,٥١ متر
قطر جسم الاسطوانة	٠,٩٦ متر
سمك جسم الاسطوانة	٠,٢٥٣ متر
الضغط المستعمل بالنسبة للسنتيمتر المربع	٥٧٠ كيلوجرام
الضغط الكلي على المكبس	١١٦١٥٠٠ كيلوجرام
المقاومة بالنسبة للميليمتر المربع	٣ر٦ كيلوجرام

ومقادير الاقطار الداخلة للمضاغط الايدروليكية الكثيرة الاستعمال لا تتجاوز كثيرا ٠,٣٠٠ متر ويجرى فيها تغيير ضغط الماء بحسب الحل المستعمل وسمك المكبس المطاول المستعمل لجسم المضغط الذى يقاوم للضغط يحسب أيضا بالقانون عينه وانما يجعل فيه

ر = ١٢ الى ١٥ كيلوجرام

والقاع يلزم ان يكون قوسا من دائرة نصف قطره نق = ٢ نق وأما الاشكال الأخر خلاف قوس الدائرة فهى غير مناسبة لعدم جودتها للمقاومة

في القص (اى الكسر العرضى)

من الصعب ان يعين بالتجربة المقاومة للقص أو الكسر العرضى وانما يكفى لذلك ان يثبت ساق قطاعه معين تثبيتا قويا ويبحث عن كسره بقوة عرضية واقعة قريبا جدا ما أمكن من نقطة التثبيت فالكسر يحصل حينئذ في قطاع عرضى

ونقسمه

وبقسمة القوة المذكورة على سطح القطاع يتحصل على مقاومة الكسر بالنسبة للوحدة السطحية فاذا كان الجسم المكسور ذا الياف فيشاهد أن جميع اليافه انقطعت عرضيا

وقد علم أن حمل الكسر يكون مناسبا للقطاع فى المعادن التى هى أهم المواد بالنظر للعمل وقد ظهر من التجربة أيضا أن المقاومة للكسر بالقص تناسب فى الظاهر للمقاومة للكسر بالشد وان الأولى هى ٤/٥ الثانية وعلى ذلك فيسمح عادة بتساوى المقاومتين المذكورتين واتخاذ معامل الأمن عينه للتحمل الشد وهو ١/٦ والحمل الأعظم ما يمكن المستعمل للشد كذلك فى الحسابات وهذا هو الجارى اتباعه على الخصوص فى البرشمة والجاويطات

وعلى العموم تقريبا تأثير القص أقل بكثير من تأثيرى الشد والضغط الواقعين على قطعة واحدة فى آن واحد وحينئذ اذا كانت القطعة المذكورة كافية لمقاومتها فبالأولى تكون كافية لمقاومة القص ومع ذلك فالاصوب عدم قطع النظر عن تأثير القص الذى يمكن ان يكون كبيرا جدا على الأخص فى الاشكال المتساوية المقاومة ويلزم على الدوام حينئذ التحقق مما اذا كانت شروط المقاومة لتأثير القص او القوة القاطعة محققة أم لا

فى المقاومة للانزلاق العرضى والطولى فى الاجسام الليفية

فى جميع الأجسام الحبيبية أو البلورية المتجانسة فى جميع اتجاهاتها يكفى ان تعتبر فيها المقاومة العرضية للقص وأما الاجسام الليفية فيلزم ان يعتبر فيها خلاف المقاومة للشد والضغط

أولا المقاومة للقص التى تدخل عندما يحصل الميل لقطع الالياف عرضيا وثانيا المقاومة للانزلاق العرضى للخيوط بعضها فوق بعض وثالثا المقاومة للانزلاق الطولى للخيوط المذكورة بعضها فوق بعض

فالانزلاق العرضى للخيوط يحصل على الخصوص فى الالتواء وأما الانزلاق الطولى فهو قليل الحصول ومع ذلك ليس له اهمية ومتى اقتضى الحال لاعتباره فى المعادن يفرض ان المقاومة للانزلاق الطولى مساوية للمقاومة للانزلاق العرضى

فى عزم القصور الذاتى للأجسام

اعلم انه اذا دار جسم حول محور ثابت فان حاصل ضرب مجسم أحد عناصره فى مربع بعد العنصر المذكور عن محور الدوران يسمى بعزم قصور ذلك العنصر بالنسبة للمحور المذكور

وأما عزم قصور الجسم بتمامه بالنسبة للمحور السابق فأنه يساوى مجموع عزم قصور عناصره بالنسبة له أيضا اعنى أنه اذا رمز لمجسم احد عناصر الجسم بالرمز مَ ولبعده عن محور الدوران بالرمز نقَ ولعزم قصوره بالنسبة للمحور المذكور بالرمز ىَ يكون

ىَ = مَ نقَ^{2} وبالنسبة لعنصر آخر يكون

ىً = مً نقً^{2} ... وهكذا

وحينئذ اذا رمز لعزم قصور الجسم بتمامه بالرمز ى يكون

ى = مجـ مَ نقَ^{2} ...... (١)

نصف قطر القصور — اعلم ان نصف قطر قصور جسم دائر حول محور هو البعد عن محور الدوران المذكور الذى

اذا تصور وضع جميع مادة الجسم عليه لا تتغير قدرته الحية ولا يتغير عزم قصوره بالنسبة للمحور المذكور اعلاه اذا رمز لنصف قطر القصور المذكور بالرمز نو وللجسم الجسم بتمامه بالرمز م يكون

$$\text{ح} = \text{م}\ \text{نو}^{2} \quad \ldots\ldots\ (٢)$$

وبناء على معادلة (١) يكون $\text{م}\ \text{نو}^{2} = \text{مج}\ \text{مَ}\ \text{نقَ}^{2}$ ومنها يحدث

$$\text{نو}^{2} = \frac{\text{مج}\ \text{مَ}\ \text{نقَ}^{2}}{\text{م}} \quad \ldots\ (٣)$$

ومتى كانت الاجسام متجانسة يمكن تعويض مجسمات العناصر بأحجامها المناسبة لها وحينئذ اذا رمز لحجم أحد العناصر بالرمز حَ والحجم الكلي للجسم المفروض بالرمز ح يكون

$$\text{ح} = \text{مج}\ \text{حَ}\ \text{نقَ}^{2} = \text{ح}\ \text{نو}^{2} \ ،$$

$$\text{نو}^{2} = \frac{\text{مج}\ \text{حَ}\ \text{نقَ}^{2}}{\text{ح}}$$

وفي حالة ما يكون احد ابعاد الجسم المتجانس صغيرا جدا بالنسبة للبعدين الأخيرين فانه يمكن اعتبار الجسم السابق سطحا وحينئذ فعزم قصوره يؤول الى عزم قصور سطح واذا كان احد بعدي السطح صغيرا جدا بالنسبة للبعد الآخر فانه يؤول الى خط وعزم قصوره يكون حينئذ عزم قصور خط ويفهم من ذلك أنه متى كانت الاجسام متجانسة فان المجسم م للجسم قد يعتبر حجما أو سطحا أو خطا بحسب صغر أحد ابعاده بالنسبة للبعدين الآخرين أو صغر كل من البعدين بالنسبة للبعد الثالث

الارتباط الواقع بين عزمي قصور الجسم المنسوبين لمحورين متوازيين — متى علم عزم قصور جسم (اي جملة مادية على العموم) بالنسبة لمحور مار بمركز الثقل فانه يتحصل على عزم قصور الجسم المذكور بالنسبة لمحور آخر مواز للأول باضافة حاصل ضرب مجسم الجسم في مربع البعد بين المحورين المذكورين الى عزم القصور المعلوم

لأنه اذا فرض ان ص صَ ، ع عَ محوران متوازيان احدهما وهو ص صَ يمر بمركز ثقل الجسم المفروض وصرنا بهما مستويا ثم انزلنا من عنصر حيثما اتفق مَ على هذا المستوى عمودا مَ ب وانزلنا من نقطة ب عمودا مشتركا على كل من المحورين المذكورين ووصلنا مستقيمي مَ ا ، مَ ٢ فهذان المستقيمان يكونان عمودين على المحورين السالف ذكرهما على التناظر ثم للاختصار نضع

$$\text{مَ ا} = \text{هَ} \ ،\ \text{مَ ٢} = \text{وَ} \ ،\ \text{ا٢} = \text{ء} \ ،\ \text{اب} = \text{سَ}$$

وحينئذ فمن مثلث مَ ا ٢ يحدث

$$\text{وَ}^{2} = \text{هَ}^{2} + \text{ء}^{2} - ٢\ \text{هَ} \times \text{ء}\ \text{حتا ا}$$

ولكن من مثلث ا ب مَ القائم الزاوية في ب يحدث

$$\text{اب} = \text{سَ} = \text{هَ}\ \text{حتا ا}$$ حينئذ يكون

$$\text{وَ}^{2} = \text{هَ}^{2} + \text{ء}^{2} - ٢\ \text{ء}\ \text{سَ} \quad \ldots\ldots\ (١)$$

وقد يلاحظ انه اذا وقعت نقطة ب على يسار ص صَ فزاوية ا تصير منفرجة وتكون الكمية سَ سالبة وبناء عليه يكون

تكون معادلة (١) عمومية باعتبار اشارة س

وبضرب طرفى المعادلة المذكورة فى الجسم م للعنصر المفروض يحدث

$\text{م و}^{2} = \text{م هـ}^{2} + \text{م ء}^{2} - 2\,\text{م ء س}$

وبالنسبة لعنصر آخر جسمه مً بالمثل يحدث

$\text{مً وً}^{2} = \text{مً هً}^{2} + \text{مً ء}^{2} - 2\,\text{مً ء سً}$ وهكذا

وبجمع هذه المعادلات على بعضها طرفا بطرف يحدث

$\text{م و}^{2} + \text{مً وً}^{2} + \dots = \text{م هـ}^{2} + \text{مً هً}^{2} + \dots + \text{ء}^{2}(\text{م} + \text{مً} + \dots) - 2\,\text{ء}(\text{م س} + \text{مً سً} + \dots)$

ولكن حيث ان م س + مً سً + ... عبارة عن مجموع عزم النقط المادية للجسم المفروض بالنسبة للمستوى المار بالمحور ص صَ عمودا على مستوى المحورين فيكون هذا المجموع معدوما لأن المستوى المار بالمحور ص صَ يمر بمركز ثقل الجسم المفروض وبناء عليه فيكون

$\text{م و}^{2} + \text{مً وً}^{2} + \dots = \text{م هـ}^{2} + \text{مً هً}^{2} + \dots + \text{ء}^{2}(\text{م} + \text{مً} + \dots)$

واذا رمز للجسم الكلى بالرمز م يحدث

$\text{م و}^{2} + \text{مً وً}^{2} + \dots = \text{م هـ}^{2} + \text{مً هً}^{2} + \dots + \text{م ء}^{2}$

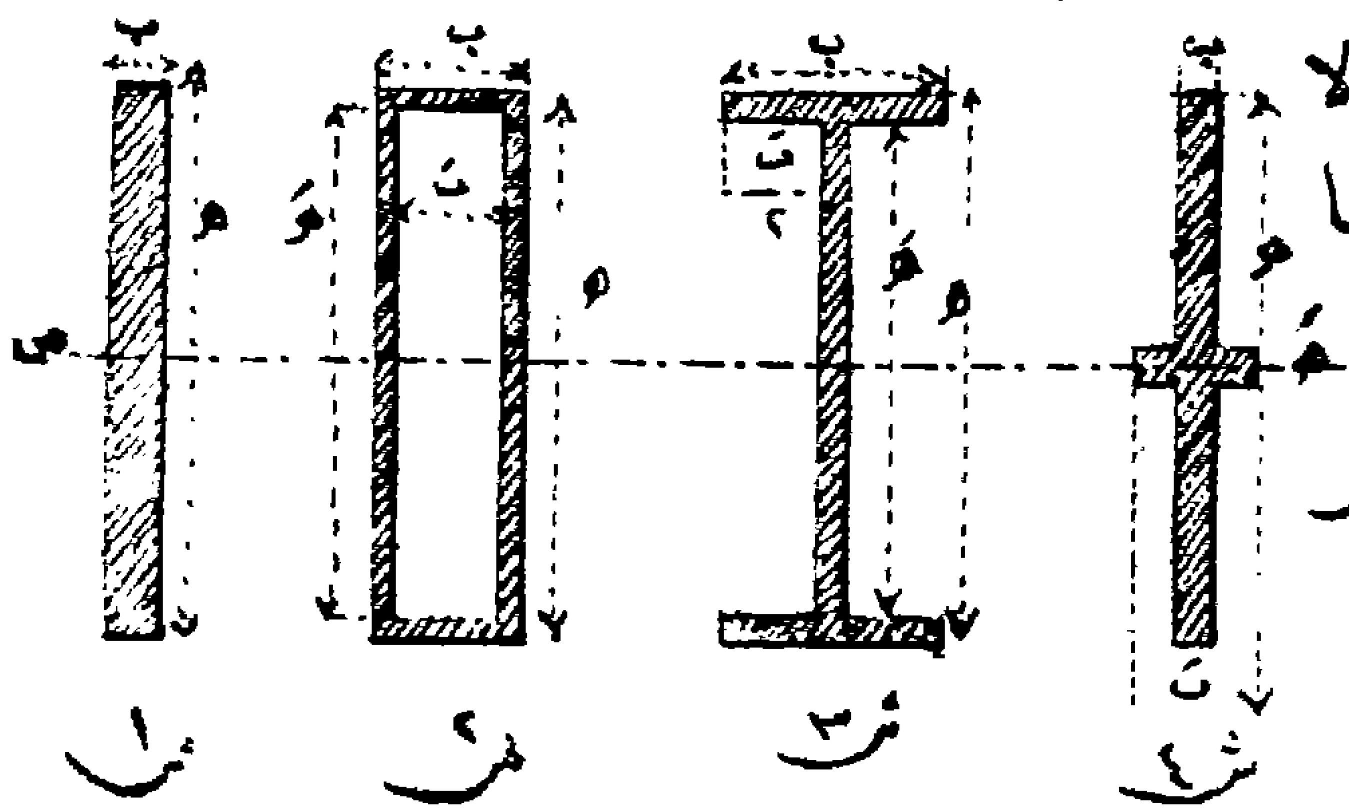
ولكن حيث ان المجموعين $\text{م و}^{2} + \text{مً وً}^{2} + \dots$ ، $\text{م هـ}^{2} + \text{مً هً}^{2} + \dots$ عبارة عن عزمى قصور الجسم المفروض بالنسبة للمحورين ع عَ ، ص صَ المذكورين فاذا رمز لعزمى القصور المذكورين بالرمزين ك ، كَ يكون

$\text{ك} = \text{كَ} + \text{م ء}^{2}$ وهو الارتباط المطلوب

ومن هذه المعادلة يمكن تعيين عزم القصور بالنسبة لمحور مار بمركز الثقل اذا علم عزم القصور بالنسبة لمحور موازٍ له بأن يطرح فقط م ء² من عزم القصور المعلوم

فى حساب عزم القصور الذاتى للقطاعات الاكثر استعمالا متماثلة كانت أو غير متماثلة

حيث ان حساب عزم القصور الذاتى على العموم لا يحصل الا بواسطة حساب التفاضل والتكامل فيكتفى هنا بوضع المقادير النهائية لعزم القصور الذاتى للقطاعات الأكثر استعمالا متماثلة كانت أو غير متماثلة بالنسبة لمحاور المارة بمراكز ثقلها وموجودة فى مستويها وهى

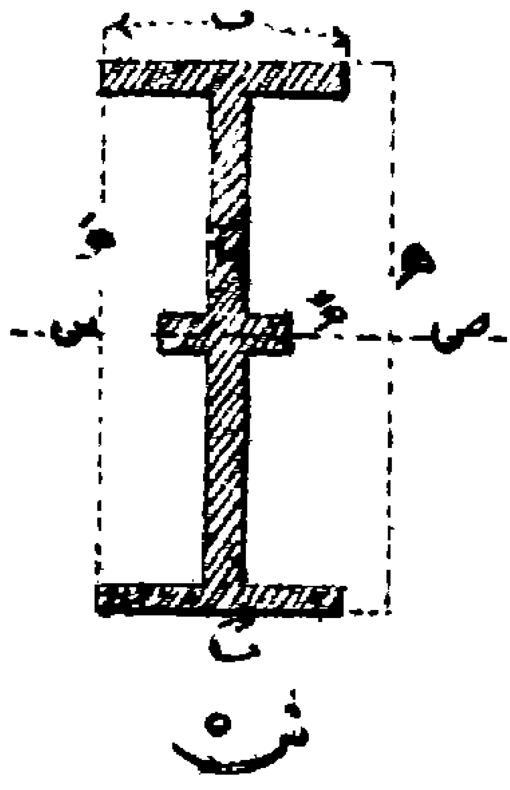


عزم قصور قطاع مستطيل (شكل ١) بالنسبة لمحور س س المار بمركز ثقله وموجود فى مستويه وموازٍ للقاعدة ب هو

$\text{ك} = \frac{1}{12}\,\text{ب هـ}^{3}$

وعزم قصور قطاع على شكل صورة مستطيل مفرغ (شكل ٢) بالنسبة لمحور س س هو $\text{ك} = \frac{1}{12}(\text{ب هـ}^{3} - \text{بَ هَ}^{3})$

وعزم قصور قطاع على صورة ضعف حرف T (شكل ٣) بالنسبة لمحور س س هو $\text{ك} = \frac{1}{12}(\text{ب هـ}^{3} - \text{بَ هَ}^{3})$



وعزم قصور قطاع صليبي على صورة (شكل ٤) بالنسبة لمحور س ص هو

$\text{ے} = \frac{1}{12}[\text{تَ}\,\text{هَ}^3 + \text{ب}(\text{هـ}^3 - \text{هَ}^3)]$ بالنسبة لمحور س ص

وعزم قصور قطاع على صورة ثلاثة امثال حرف T (شكل ٥) هو

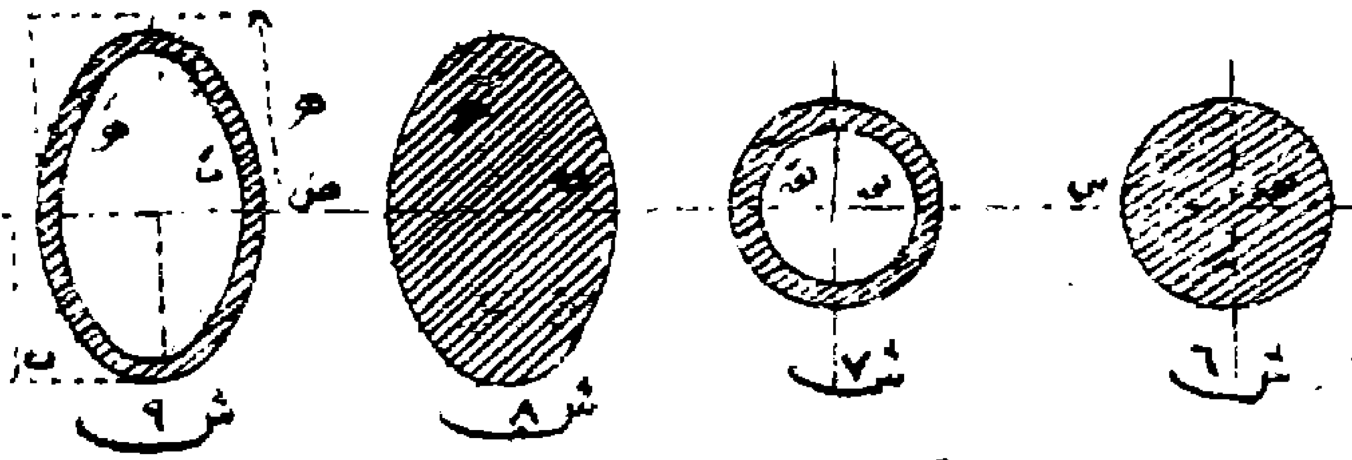
$\text{ے} = \frac{1}{12}[\text{تً}\,\text{هـ}^3 + \text{تَ}(\text{هَ}^3 - \text{هً}^3) + \text{ب}(\text{هـ}^3 - \text{هَ}^3)]$

وعزم قصور قطاع دائرى (شكل ٦) بالنسبة لأحد اقطاره هو

$\text{ے} = \frac{1}{4}\,\text{ط}\,\text{نق}^4$

وبالنسبة للخط العمودى على سطح الدائرة ومار بمركزها هو

$\text{ے} = \frac{1}{2}\,\text{ط}\,\text{نق}^4$



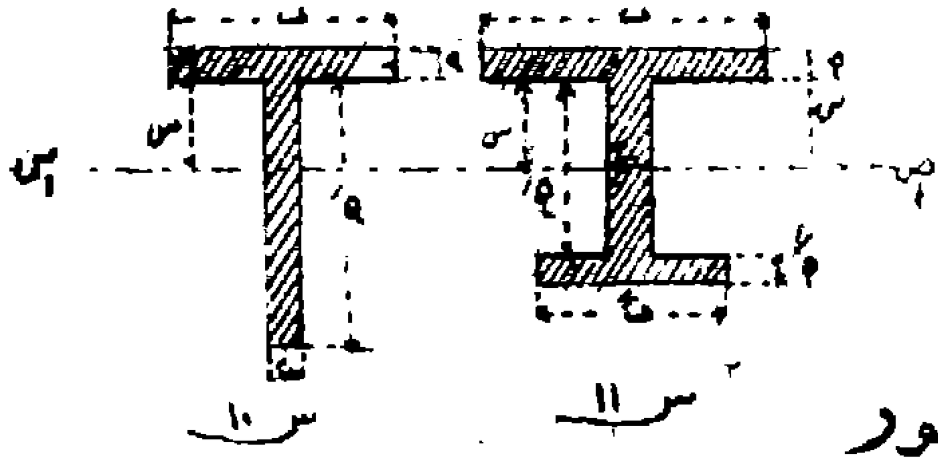
وعزم قصور قطاع دائرى مفرغ (شكل ٧) بالنسبة لأحد اقطاره هو $\text{ے} = \frac{1}{4}\,\text{ط}(\text{نق}^4 - \text{نقَ}^4)$

وبالنسبة للمحور العمودى على سطح القطاع ومار بالمركز هو

$\text{ے} = \frac{1}{2}\,\text{ط}(\text{نق}^4 - \text{نقَ}^4)$

وعزم قصور قطاع ناقصى (شكل ٨) بالنسبة لمحور س ص هو

$\text{ے} = \frac{1}{4}\,\text{ط}\,\text{ب}\,\text{هـ}^3$



وعزم قصور قطاع ناقصى مفرغ (شكل ٩) بالنسبة لمحور س ص هو

$\text{ے} = \frac{1}{4}\,\text{ط}(\text{ب}\,\text{هـ}^3 - \text{تَ}\,\text{هَ}^3)$

ولأجل تعيين عزم قصور قطاع على صورة حرف T (شكل ١٠) بالنسبة للمحور س ص نرمز بحرف س للبعد الرأسى الواقع بين الافقى العلوى للقطاع وبين مركز ثقل القطاع المذكور المفروض مرور خط المحول به وحينئذ يكون

$\text{س} = \frac{1}{2}\,\frac{\text{ب}\,\text{هـ}^2 + \text{تَ}\,\text{هَ}^2 + 2\,\text{ب}\,\text{هـ}\,\text{هَ}}{\text{ب}\,\text{هـ} + \text{تَ}\,\text{هَ}}$ ،

$\text{ے} = \frac{1}{3}[\text{ب}[\text{س}^3 - (\text{س} - \text{هـ})^3] + \text{تَ}[\text{س} + (\text{هَ} - \text{س})^3]]$

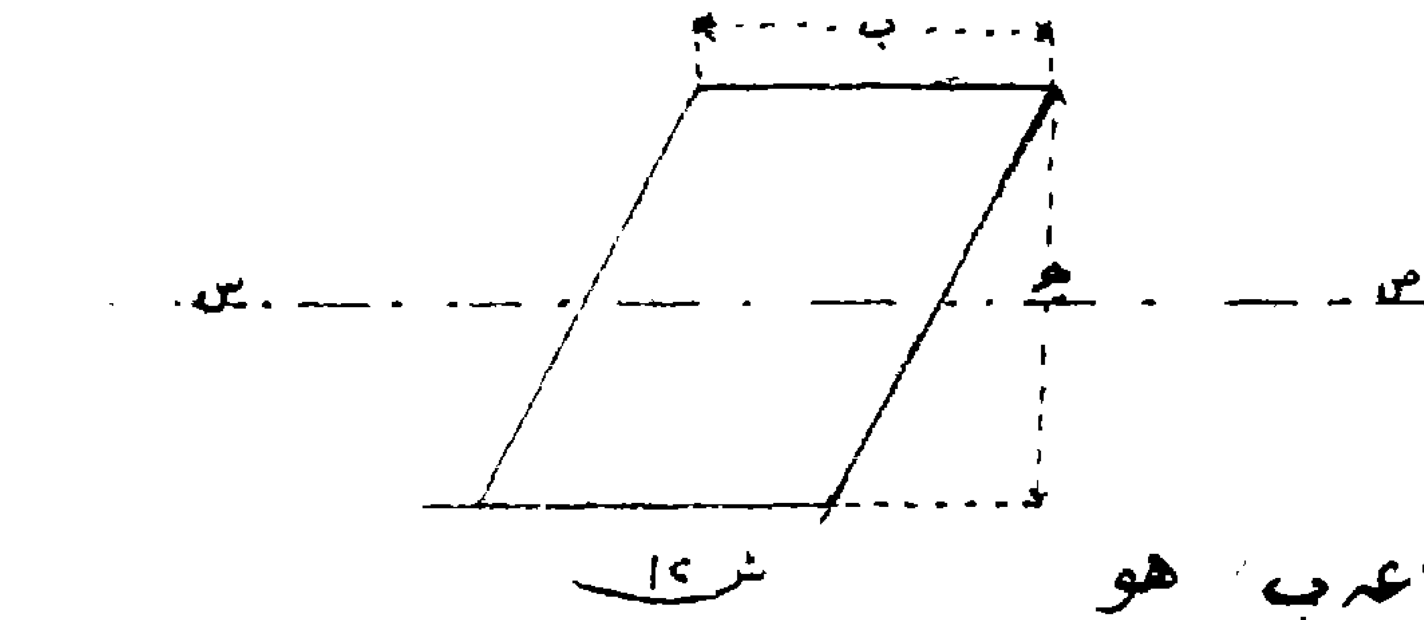
ولأجل تعيين عزم قصور قطاع على صورة ضعف حرف T والرأسان مختلفان (شكل ١١) بالنسبة للمحور س ص نرمز بحرف س للبعد الرأسى الواقع بين الافقى العلوى للقطاع وبين مركز ثقله المفروض مرور خط المحول به وحينئذ يكون

$\text{س} = \frac{1}{2}\,\frac{\text{ب}\,\text{هـ}^2 + \text{تَ}\,\text{هَ}^2 + \text{تً}\,\text{هً}^2 + 2(\text{تَ}\,\text{هـ}\,\text{هَ} + \text{تً}\,\text{هً}(\text{هـ} + \text{هَ}))}{\text{ب}\,\text{هـ} + \text{تَ}\,\text{هَ} + \text{تً}\,\text{هً}}$ ،

$\text{ے} = \frac{1}{3}[\text{ب}[\text{س}^3 - (\text{س} - \text{هـ})^3] + \text{تَ}[(\text{س} - \text{هـ})^3 + (\text{هـ} + \text{هَ} - \text{س})^3] + \text{تً}[(\text{هـ} + \text{هَ} + \text{هً} - \text{س})^3 - (\text{هـ} + \text{هَ} - \text{س})^3]]$

وحيث أنه يحتاج احيانا فى حساب عزم قصور بعض القطاعات غير المنتظمة الى حساب عزم قصور متوازى اضلاع او مثلث فنذكر القوانين النهائية الخاصة بعزم قصور هذين الشكلين فنقول

عزم قصور متوازي اضلاع (شكل ١٢) بالنسبة لمحور س ط المار بمركز ثقله ومواز للقاعدة ب هو



$$\text{ى} = \frac{1}{12}\ \text{ب}\ \text{هـ}^3$$

وبالنسبة لأحد قطريه (شكل ١٣) هو

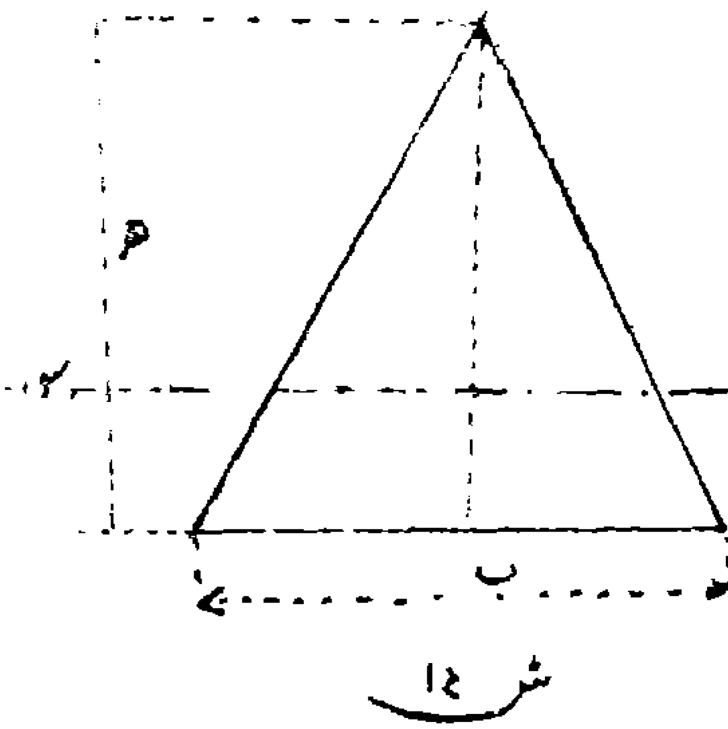
$$\text{ى} = \frac{1}{6}\ \text{ب}\ \text{هـ}^3$$

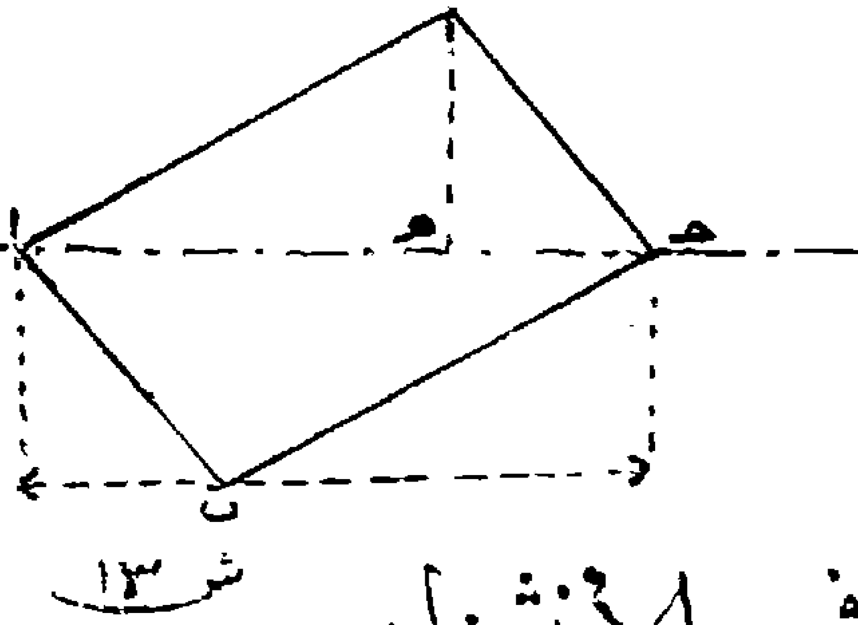
وعزم قصور مثلث (شكل ١٤) بالنسبة لأحد اضلاعه ب هو

$$\text{ى} = \frac{1}{12}\ \text{ب}\ \text{هـ}^3$$

وبالنسبة للمحور س ص المار بمركز ثقله ومواز للقاعدة ب هو

$$\text{ى} = \frac{1}{36}\ \text{ب}\ \text{هـ}^3$$





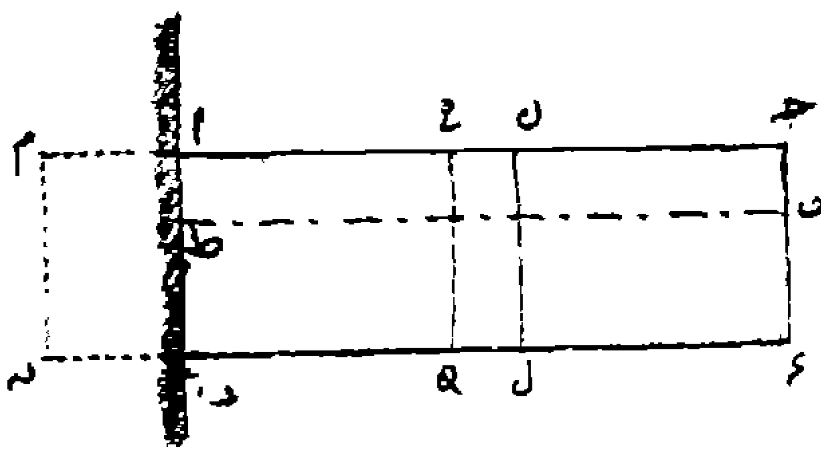
في الانثناء

في انثناء القطع المستقيمة

في مقاومة قطعة مثبتة من أحد طرفيها ومطلقة من الطرف الآخر

القطع المستقيمة يمكن انثناؤها بجملة كيفيات وأهمها التي نشاهد تطبيقاتها كثيرا في الحسابات هو انثناء قطعة منشورية مثبتة من أحد طرفيها ومطلقة من الطرف الآخر

ويقال ان التثبيت حاصل متى كانت القطعة ثابتة بالكلية في جزء من طولها ا ب م ن ويتحصل على التثبيت بادخال طرف القطعة في تجويف من الحائط وتجبيسه جيدا أو بوضعه بين فكين ثابتين



والغرض من التثبيت منع انثناء الجزء المثبت وحينئذ فالقطاع ا ب من الشكل يبقى على الدوام رأسيا مهما كانت القوة الواقعة على الطرف الآخر من المنشور ومهما كان انثناؤه

ولنشتغل بمقاومة قطعة منشورية ا ب د ى مثبتة من طرفها ا ب ومطلقة الطرف الآخر د ى الواقع عليه الثقل ن فنقول

انه بتأثير الثقل المذكور ينحني الساق وللحصول على جميع ما ينشأ عن ذلك نفرض جملة فروض فلنعتبر أن المنشور مكون من حزمة من الالياف أو الخيوط المحزوم بعضها ببعض وموازية لأحرف المحيط الخارج ا د ، ب ى ثم أن الخيط المار بمراكز ثقل جميع القطاعات العرضية يسمى بالخيط المحوري ونسلم أنه بعد

الانحناء تكون جميع الخيوط منحنية على التساوى وأن جميع نقطها تبقى على ابعاد واحدة من الحرف الخارج اح

ثم نسلم ايضا بما هو آت أولا أن جميع النقط التى كانت موجودة فى الأصل فى القطاع العرضى ح هـ توجد بعد الانحناء فى قطاع المستوى عينه ح هـ العمودى على الحرف العلوى اح وثانيا أن القطاعات تحفظ اشكالها وأبعادها الأصلية وثالثا ان الانحناء يكون ضعيفا نوعا بحيث يمكن تطبيق القوانين البسيطة الخاصة بالشد والضغط (وهذا يقتضى بعدم تجاوز نهاية المرونة فى اى حال من الأحوال)

ومع كون هذه الفروض ليست حقيقية بالضبط الا انه بواسطة اعتبارها يمكن تسهيل دراسة الحالة المتشجبة للانحناء أو الانثناء وحقيقة لا يمكن ان يعوّل بالكلية على نتائج الحسابات ومع ذلك فقد ظهر من التجربة أن الفروض السابقة مطابقة تقريبا لما هو جار فى العمل وحينئذ يمكن التسليم بها بكل ارتياح فى الانشاآت ومسالة الانحناء تنقسم الى قسمين مختلفين فالأول يختص بتعيين الشد والضغط الحاصل من نقطة معينة من خيط معين والثانى يختص بايجاد شكل كل من الألياف بعد الانحناء

فالقسم الثانى من هذه المسالة متشعب جدا ويمكن تركه فى العمل وحينئذ فلا نشتغل به ونبحث فقط على الضغوط التى تؤثر فى قطاع عرضى فنقول

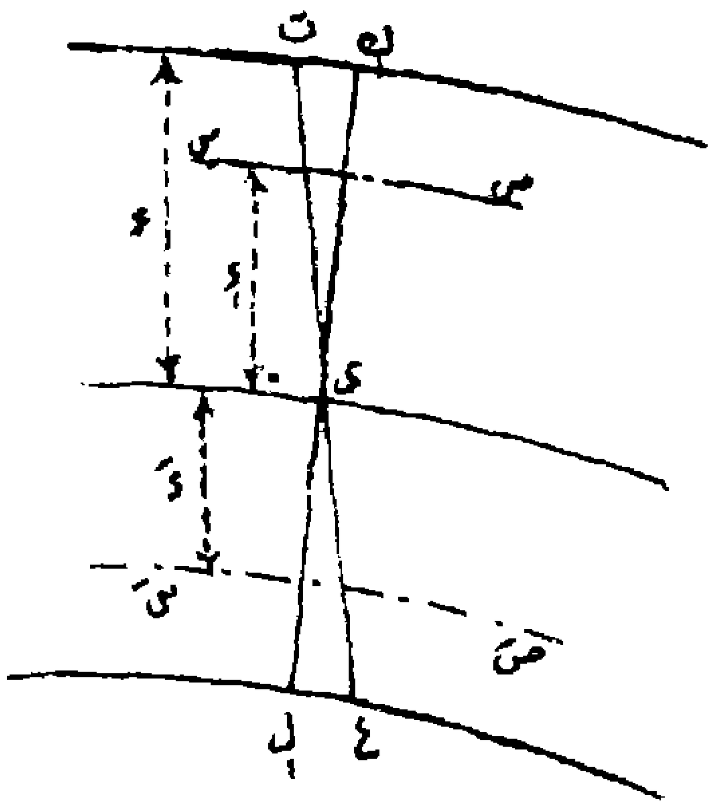
أن القطاعين العرضيين المتجاورين ح هـ ، ك ل اللذين كانا فى الاصل متوازيين لا يكونان كذلك بعد حصول الانحناء وحيث أن ح هـ ، ك ل يكونان عمودين على الخيط الخارج اح فيتقاطعان فى مستقيم مسقط فى و

ويرى بداهة ان المسافة ك ح تتزايد والمسافة هـ ل تتناقص ويحصل حينئذ استطالة الخيوط فى الجزء العلوى وانكماشها فى الجزء السفلى والاستطالة العظمى تكون فى الخيط العلوى اح ثم تأخذ فى النقص نحو النزول وبالمثل يكون الانكماش الأعظم فى الخيط السفلى ب ء ثم يأخذ فى النقص نحو الصعود وعلى هذا فتكون القوى الاعظم ما يمكن مؤثرة على الخيط الأعلى وعلى الخيط الأسفل

وحيث أن أحد هذين الخيطين مشدود والآخر مضغوط فيلزم أن يوجد فى الجزء الوسطى خيط يكون حدا فاصلا بين الشد والضغط ويكون غير متأثر بأدنى قوة وهذا الخيط يسمى بخط الحمول أو بمحور الحمول ثم أن محور الحمول المذكور لا يكون موازيا لخيوط المنشور على العموم وفى الحالة التى نحن بصددها محور الحمول شكله مركب وما كان فوقه من الخيوط فهو متأثر بقوى شد وما كان تحته فهو متأثر بقوى ضغط

ولنرجع الى القطاعين المتجاورين ح هـ ، ك ل اللذين بعد الانحناء يوجدان فى ع هـ ، ك ل فنرى أن القطاع ك ل يقابل محور الحمول فى نقطة ى فنمد منها ت ع موازيا الى ح هـ وحينئذ فالمثلث ت ى ك يبين استطالة الخيوط الموجودة فوق محور الحمول وموازية للقاعدة ت ك للمثلث المذكور والمثلث ع ى ل يبين

انكماش



انكماش الخيوط الموجودة اسفل محور الخمول وموازية للقاعدة ع ل للمثلث المذكور

ولنفرض خيطا س ص موجودا على بعد ء من محور الخمول ونرمز لشده بحرف س فهذا الشد يكون مناسبا للاستطالة س ص للخيط المذكور

وحيث أن الشد الاعظم واقع على الخيط المتطرف ت ك فنرمز بحرف م للمقدار الذى لا يتجاوزه الشد المذكور وهذا المقدار متعلق بمعامل الأمن المستعمل ولنفرض أن الشد فى ت ك مساو بالضبط الى م فبناء على كون الاستطالات مناسبة للضغوط يحدث

$$\frac{س}{م} = \frac{س ص}{ت ك} = \frac{ء}{ء} \quad ومنها \quad س = \frac{م}{ء} \times ء$$

وهو مقدار الشد على بعد ء من محور الخمول

فبتطبيق هذا المقدار على عنصر مثل ت من القطاع العرضى فأن الشد فيه يكون مساويا الى $\frac{م ء}{ء} \times ت$

وعزم الشد المذكور بالنسبة للخط العمودى على مستوى الشكل المار بنقطة ى يكون

$$م \times \frac{ء^2}{ء} \times ت$$

واذا أخذ عوضا عن خيط مستطيل خيط منكمش فيكون الخيط المذكور محصورا فى الشكل ل ى ع ونفرض أن المقاومة للشد عين المقاومة للضغط (وهذا يختلف قليلا عن الحقيقة بالنسبة للحديد) ولوحظ أن المثلث ى سَ صَ مشابه للمثلث ى ت ك فأنه يحدث ايضا

$$\frac{سَ}{م} = \frac{سَ صَ}{ت ك} = \frac{ءَ}{ء}$$

وحينئذ فعزم الضغط سَ بالنسبة للعمودى فى نقطة ى على سطح الشكل يكون

$$م \times \frac{ءَ^2}{ء} \times تَ$$

وعليه فيكون مجموع عزم القوى العنصرية المؤثرة فى القطاع ل ك هو

$$\frac{م}{ء} مج ء^2 \times ت$$

وحيث أن الكمية مج ء² × ت عبارة عن عزم قصور القطاع العرضى للمنشور بالنسبة للمحور ى الموجود فى القطاع المذكور فاذا رمزنا لعزم القصور المذكور بحرف ے فأن عزم مقاومة القطعة فى القطاع ك ل يكون مساويا الى $\frac{م ے}{ء}$ وحيث ان هذا القطاع يلزم أن يقاوم القوى الخارجة الواقعة بينه وبين الطرف المطلق للقطعة المنشورية فعزم مقاومته يلزم ان يكون مساويا لعزم القوى الخارجة بالنسبة للمحور عينه فاذا قطعنا النظر عن ثقل القطعة فأنه فى الحالة التى نحن بصددها تكون القوى الخارجة عبارة عن الثقل ه الواقع فى النهاية المطلقة حـ ى وعزم تلك القوة يكون مساويا حينئذ الى حاصل ضرب ه فى البعد س الواقع بين القطاع ك ل وبين النهاية المطلقة وحينئذ فمعادلة التوازن تؤول الى

$$\frac{م ے}{ء} = ه س$$

وبواسطة هذه المعادلة يمكن أولاً من بعد معلومية شكل القطعة المنشورية وابعادها تعين مقدار الثقل ف الذي يمكن توقيعه على النهاية المطلقة لها

وثانياً من بعد معلومية الثقل ف المقتضى توقيعه على الطرف المطلق تعيين عزم القصور س للقطاع العرضي للقطعة المفروضة وفي هذه الحالة تكون المسألة غير معينة الحل حيث انه يوجد بداهة عدد غير محدود من القطاعات التي عزم قصورها واحد

في الأحوال التي يكون فيها العتب مثبتاً من احد طرفيه ومطلق من الطرف الآخر

الحالة الأولى — اذا كان الحمل وحيداً وواقعاً في الطرف المطلق ص ورمزنا بالرمز ع لعزم الانحناء بالنسبة لقطاع حيثما اتفق د متباعد عن الطرف المطلق ص بالبعد س يكون

$$ع = ف س \quad \ldots\ldots\ldots (١)$$

واذا فرض ان س = ل يكون

ع = ف ل وفي هذه المعادلة ع رمز لعزم الانحناء الأعظم ولكن معادلة التوازن بالنسبة للقطاع د المذكور تكون $\frac{ك ر}{ى} = ف س$

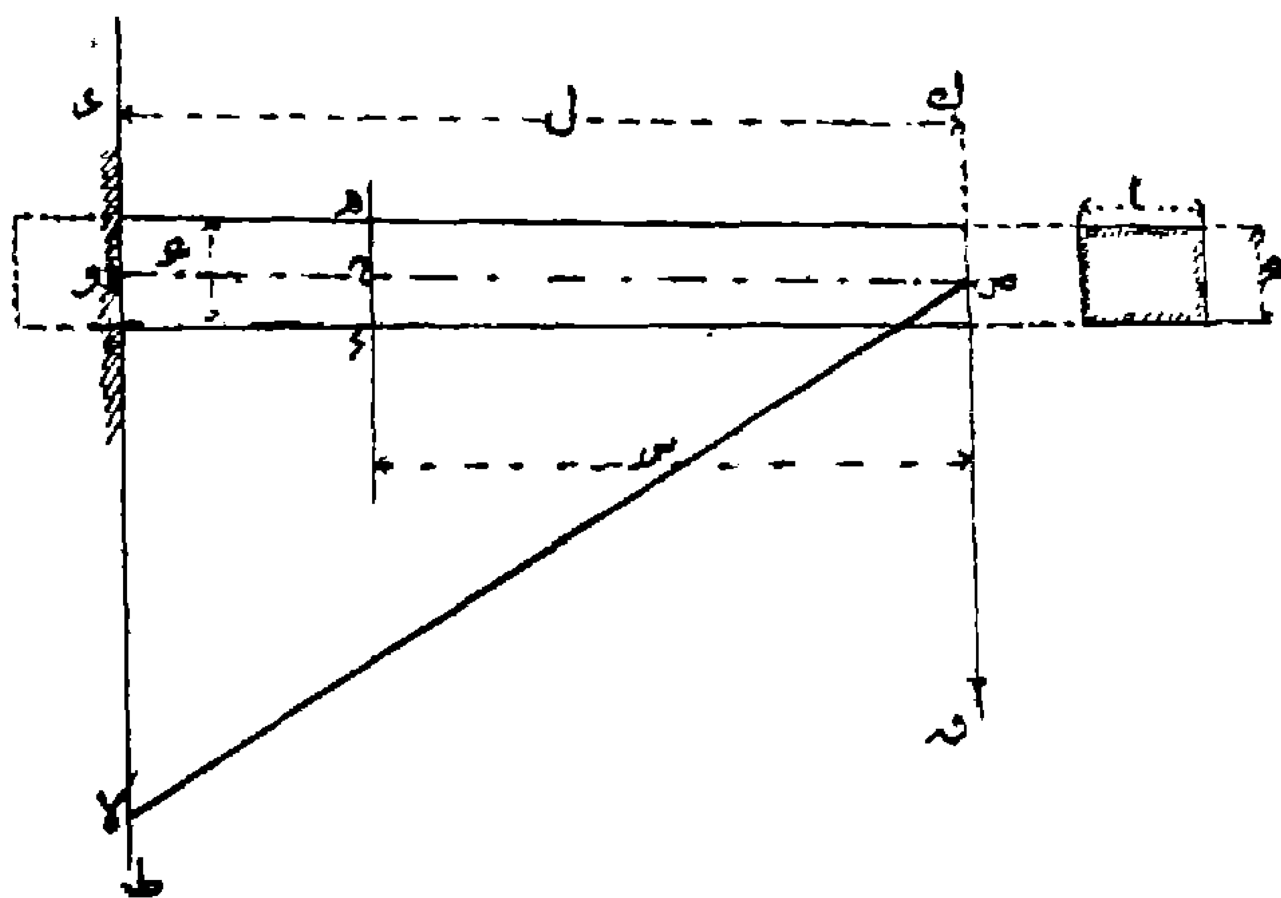
فاذا كان القطاع مستطيلاً ارتفاعه هـ يكون

ى = $\frac{هـ}{٢}$ وحينئذ يكون $\frac{٢ ر ك}{هـ} = ف س$

ومن هذه المعادلة يحسب مقدار القطاع بالنسبة لكل نقطة من طول العتب ولكن اذا أريد ان يكون للعتب قطاع ثابت يحسب القطاع المذكور من معادلة

$$\frac{٢ ر ك}{هـ} = ف ل \quad \ldots\ldots\ldots (٢)$$

ويفهم من معادلة (١) أن الخط البياني لعزم الانحناء أو عزم الكسر هو خط مستقيم مار بنقطة ص وقاطع للمستقيم الرأسي و ط في نقطة لا بعدها عن نقطة و تساوى المقدار ف ل مأخوذاً بمقياس اختياري أعني أن و لا = ف ل



وحينئذ فالمستقيم ص لا يكون هو الخط البياني لعزم الانحناء

الحمل القاطع — اعلم ان الحمل القاطع في نقطة ما من العتب هو المشتقة برتبة أولى لعزم الانحناء ع بدلالة المتغير س فاذا رمز للحمل القاطع المذكور بحرف ح واخذت المشتقة برتبة أولى لمعادلة (١) يكون

$$ح = ف \quad \ldots\ldots\ldots (٣)$$

ويفهم من هذه المعادلة ان الخط البياني للأحمال القاطعة مستقيم افقي له ى متباعد عن المحور ص و بحيث يبعد و ى = ف

وبعد حساب قطاع العتب اذا رمز له بحرف ب يلزم ان يكون محققاً للمتباينة أو المعادلة الآتية

$\frac{\text{ح}}{\text{ب}} \leqq \text{م}$ التى فيها م رمز لعامل المقاومة

فاذا كان $\frac{\text{ح}}{\text{ب}} > \text{م}$ يلزم تغيير القطاع المذكور بقطاع آخر يكون محققا للمتباينة أو المعادلة السابقة

في حساب سهم انحناء الطرف المطلوق ص لخيط الخمول ـ لحساب سهم انحناء الطرف المطلق المذكور نعين ابتداء القانون العمومي الذي يحسب به سهم الانحناء على العموم ولذلك نفرض كما في الشكل أن ا ب هو الوضع الابتدائي للمحور الطولي للمنشور ونتصور تقسيم المنشور المذكور الى عدد كبير بقدر مايراد من الأجزاء المنشورية المتساوية وحينئذ اذا جعل السمك الثابت لكل من القطع الحادثة من هذا التقسيم وحدة فإن الاستطالات أو الانكماشات أَ ، أً ، أًّ .... الخ الحاصلة للخيوط الابعد مايكون عن محور الدوران في الاجزاء المتتالية للمنشور تكون مقاديرها كالآتي

$$\text{أَ} = \frac{\text{مَ}}{\text{و}} \text{ ، } \text{أً} = \frac{\text{مً}}{\text{و}} \text{ ، } \text{أًّ} = \frac{\text{مًّ}}{\text{و}} \text{ .... الخ}$$

التي فيها مَ ، مً ، مًّ .... الخ رموز للشدد التي تحدثها القطاعات بالنسبة للوحدة السطحية ، و رمز لعامل المرونة

ويرى بالسهولة أن كل دوران قطاع جزئي يقابل دورانا مساويا له من جزء محور المنشور محصورا بين هذا القطاع والنهاية المطلقة وكل من هذه الدورانات المذكورة يحدث من نفسه انتقالا ظاهرا لنهاية المحور وان مجموع هذه الانتقالات يكون الانتقال الكلي اعني يكون سهم الانحناء

ولكن الانتقالات المذكورة وهي ىَ ، ىً ، ىًّ .... الخ للنهاية المطلقة للمحور مرتبطة بالمتغيرات المقابلة لها وهي أَ ، أً ، أًّ .... الخ للقطاعات الجزئية بالارتباطات التناسبية الآتية

$$\frac{\text{ىَ}}{\text{لَ}} = \frac{\text{٢أَ}}{\text{هـَ}} \text{ ، } \frac{\text{ىً}}{\text{لً}} = \frac{\text{٢أً}}{\text{هـً}} \text{ ، } \frac{\text{ىًّ}}{\text{لًّ}} = \frac{\text{٢أًّ}}{\text{هـًّ}} \text{ .... الخ}$$

ويستنتج بناء على المعادلات السابقة أن

$$\text{ىَ} = \frac{\text{٢مَلَ}}{\text{وهـَ}} \text{ ، } \text{ىً} = \frac{\text{٢مًلً}}{\text{وهـً}} \text{ ، } \text{ىًّ} = \frac{\text{٢مًّلًّ}}{\text{وهـًّ}} \text{ ...... الخ}$$

وبجمع هذه المعادلات طرفا بطرف يحدث

$$\text{ف} = \frac{\text{٢}}{\text{و}} \left(\frac{\text{مَلَ}}{\text{هـَ}} + \frac{\text{مًلً}}{\text{هـً}} + \frac{\text{مًّلًّ}}{\text{هـًّ}} + \text{.... الخ} \right)$$

ويرى من هذا القانون الأخير أن سهم الانحناء ف لجسم حيثما اتفق متعلق على الخصوص بالشدد مَ ، مً ، مًّ .... الخ التي تحدثها القطاعات المتتالية لجسم المذكور

وحينئذ في حالة مايكون قطاع المنشور أو العتب المثبت من أحد طرفيه مستطيلا ارتفاعه ثابت هـ فإن سهم الانحناء للطرف المطلق يتعين بناء على المعادلة العمومية السابقة من المعادلة

$$\text{ف} = \frac{\text{٢}}{\text{٣}} \times \frac{\text{مل}^{\text{٢}}}{\text{وهـ}}$$

أو من معادلة

$$\text{ف} = \frac{\text{١}}{\text{٣}} \, \frac{\text{ثل}^{\text{٣}}}{\text{وك}}$$

لأن في هذه الحالة تؤول المعادلة العمومية لسهم الانحناء الى

$$ف = \frac{٢}{و ه} (مَ لَ + مً لً + مٌّ لٌّ + ... الخ)$$

وحيث ان في هذه الحالة مَ ذ = ه لَ ، مً ذ = ه لً ، مٌّ ذ = ه لٌّ ، .... الخ

التي فيها ذ رمز لمعدل المقاومة ومقداره هو ذ = $\frac{ع}{ح}$ فيكون

$$ف = \frac{٢ ه}{و ه ذ} (لَ^٢ + لً^٢ + لٌّ^٢ + ... الخ)$$

وحيث أن لَ^٢ = لَ × لَ فيكون

لَ^٢ عبارة عن عزم خط مستقيم مادى طوله لَ وذراع رافعته لَ بالنسبة للطرف المطلق لمحور العتب وعليه فالمجموع المحصور بين القوسين يكون عبارة عن مثلث ا ب ى قائم الزاوية ومتساوى الساقين طول ساقه ل بالنسبة لرأسه ا وحيث أن عزم المثلث المذكور بالنسبة للنقطة المذكورة يساوى

$$\frac{ل^٢}{٢} \times \frac{٢}{٣} ل = \frac{١}{٣} ل^٣$$

فيكون $لَ^٢ + لً^٢ + لٌّ^٢ + ... = \frac{١}{٣} ل^٣$

وعليه يكون $ف = \frac{٢}{٣} \times \frac{ه ل^٣}{و ه ذ}$

وحيث ان في هذه الحالة ه ل = م ذ ، ذ = $\frac{ع}{ح}$ فيكون

$$ف = \frac{٢}{٣} \frac{م ل^٢}{و ه} \quad أو$$

$$ف = \frac{١}{٣} \frac{ه ل^٣}{و ى} \quad وهو المطلوب$$

الحالة الثانية - اذا كان العتب محملا بجملة أحمال وقطع النظر عن شكل المقطع فأن عزم الانحناء بالنسبة لقطاع حيثما اتفق يكون مساويا لمجموع عزم القوى الخارجية الواقعة بين هذا القطاع والطرف المطلق للعتب المذكور وحينئذ فعزم الانحناء الاعظم يكون منسوبا للقطاع التثبيت ا ب أى للقطاع الخطر وعليه يكون

$$ع = ه ل + هَ س + هً سً + ... الخ$$

ومعادلة التوازن تؤول حينئذ الى

$$\frac{م ى}{ى} = ه ل + هَ س + هً سً + ... الخ$$

الذى فيها ى رمز لبعد الخيط المتطرف عن خط الحمول في القطاع ا ب

وأما مقدار الحمل القاطع فأنه يعلم من معادلة

$$ح = ه + هَ + هً + ...$$

وأما سهم الانحناء للطرف المطلق فيحسب بناء على المعادلة العمومية السابقة وهى

$$ف = \frac{٢}{و} (\frac{مَ لَ}{هَ} + \frac{مً لً}{هً} + \frac{مٌّ لٌّ}{هٌّ} + ...)$$

التي فيها و رمز لمعامل المرونة ، مَ ، مً ، مٌّ ، ... رموز لمعاملات المقاومة في القطاعات المختلفة ، هَ ، هً ، هٌّ ، ...

رموز

رموز لارتفاعات القطاعات المختلفة المذكورة التى ابعادها عن النهاية المطلقة هى ل َ، ل ً، ل ً ً ....
على التناظر كما سبق

ولكن لا يتيسر حساب سهم الانحناء فى هذه الحالة من هذه المعادلة لسبب تشعب حدودها

الحالة الثالثة — اذا كان العتب محملا بحمل موزع بانتظام فان معادلة منحنى العزم تكون

$$ع = \frac{1}{2} ده (ل - س)^2$$

التى فيها ده رمز للحمل بالنسبة للمتر الطولى وأما العزم بالنسبة لقطاع التثبيت فيكون مساويا الى

$\frac{1}{2}$ ده ل² اعنى أ ب

$$ع = \frac{1}{2} ده ل^2$$

واذا رمز لمقدار الحمل الذى يتحمله العتب مع الأمن بتوقيعه على طرفه المطلق بالرمز ﻫ وكان هذا الحمل مساويا للحمل الكلى ده ل الموزع بانتظام على طول العتب المذكور يكون

$$ع = \frac{1}{2} ﻫ ل$$

ويفهم من ذلك ان العتب الذى يتحمل مع الأمن حملا قدره ﻫ واقعا على طرفه المطلق يتحمل مع الأمن ضعف ذلك الحمل اذا صار توزيعه بانتظام على طول العتب المفروض

وأما القوة القاطعة فتتعين من القانون

$$ح = ده (ل - س)$$

وحينئذ فمنحنى العزم يكون قطعا مكافئا أ ب وأن الخط الذى احداثياته الرأسية تعلم بها مقادير ح هو مستقيم ا ء

وأما القطاع فيحسب من معادلة

$$\frac{م ى}{ع} = \frac{1}{2} ده ل^2$$

فاذا كان قطاع العتب مستطيلا ارتفاعه ﻫ فأن المعادلة المذكورة تؤول الى

$$\frac{2 م ى}{ﻫ} = \frac{1}{2} ده ل^2$$

ومنه بعد حساب القطع يلاحظ ان مقاومته يلزم ان تكون مساوية أو اكبر من الحمل القاطع اعنى انه يكون

$$\frac{ح}{ى} \leq م$$

وأما سهم الانحناء فى النهاية المطلقة للعتب فيحسب من المعادلة

$$ف = \frac{1}{8} \frac{ده ل^4}{م ى}$$ أو من معادلة

$$ف = \frac{1}{2} \frac{م ل^2}{و ﻫ}$$

لأنه فى هذه الحالة تؤول المعادلة العمومية لسهم الانحناء الى

$$\text{ف} = \frac{\text{ع}}{\text{وهـ}} \left(\text{مَ لَ} + \text{مً لً} + \text{مٍ لٍ} + \ldots \text{الخ} \right)$$

وحيث ان فى هذه الحالة

$$\text{مَ ذ} = \tfrac{1}{2}\,\text{ده لَ}^{2} \text{ ، } \text{مً ذ} = \tfrac{1}{2}\,\text{ده لً}^{2} \text{ ، } \text{مٍ ذ} = \tfrac{1}{2}\,\text{ده لٍ}^{2} \text{ ،.... الخ فيكون}$$

$$\text{ف} = \frac{\text{ده}}{\text{وهـ ذ}} \left(\text{لَ}^{3} + \text{لً}^{3} + \text{لٍ}^{3} + \ldots \right)$$

وحيث ان $\text{لَ}^{3} = \text{لَ}^{2} \times \text{لَ}$ فيكون لَ^{3} عبارة عن عزم مربع مادى ضلعه لَ وذراع رافعته لَ بالنسبة للطرف المطلق لمحور العتب وعليه فالمجموع المحصور بين القوسين يكون عبارة عن عزم هرم قائم ا ب د هـ و قاعدته مربع ضلعه ل وارتفاعه ل بالنسبة لرأسه ا وحيث أن عزم الهرم المذكور بالنسبة للنقطة ا يساوى $\tfrac{1}{3}\,\text{ل}^{3} \times \tfrac{3}{4}\,\text{ل}$ فيكون

$$\text{لَ}^{3} + \text{لً}^{3} + \text{لٍ}^{3} + \ldots \text{الخ} = \tfrac{1}{4}\,\text{ل}^{4} \quad \text{وعليه يكون}$$

$$\text{ف} = \tfrac{1}{4}\,\frac{\text{ده ل}^{4}}{\text{وهـ ذ}}$$

وحيث ان فى هذه الحالة $\text{ذ} = \frac{\text{ع}^{2}}{\text{هـ}}$ ، $\tfrac{1}{2}\,\text{ده ل}^{2} = \text{م ذ}$ فيكون

$$\text{ف} = \tfrac{1}{8}\,\frac{\text{ده ل}^{4}}{\text{و ع}^{2}} \quad \text{أو}$$

$$\text{ف} = \tfrac{1}{2}\,\frac{\text{م ل}^{2}}{\text{و هـ}} \quad \text{وهو المطلوب}$$

الحالة الرابعة – اذا كان العتب محملا بأحمال متزايدة بانتظام بكيفية مستمرة بالابتداء من النهاية المطلقة للعتب التى يكون فيها الحمل معدوما الى نقطة التثبيت التى يكون فيها مقدار الحمل ك وفرضنا ان محصلة الاحمال المذكورة هى ده يكون

$$\text{ده} = \tfrac{1}{2}\,\text{ك ل}$$

وحيث ان نقطة تأثير المحصلة المذكورة توجد فى هذه الحالة فى ثلث طول العتب بالابتداء من نقطة التثبيت فيكون

$$\text{ع} = \tfrac{1}{2}\,\text{ك ل} \times \tfrac{1}{3}\,\text{ل} = \tfrac{1}{6}\,\text{ك ل}^{2} = \tfrac{1}{3}\,\text{ده ل}$$

فاذا كان قطاع العتب مستطيلا ارتفاعه هـ فان معادلة التوازن تكون

$$\frac{\text{٢م ع}}{\text{هـ}} = \tfrac{1}{3}\,\text{ده ل}$$

ومن هذه المعادلة يحسب قطاع العتب

وأما الحمل القاطع فى نقطة ما فأنه يتعين من معادلة $\text{ح} = \frac{\text{ك}}{\text{٢ل}} (\text{ل} - \text{س})^{2}$

ومقداره الاعظم المطابق لقطاع التثبيت يتعين من المعادلة المذكورة بفرض س = ٠

فى الأعتاب المتساوية المقاومة المثبتة من أحد الطرفين ومطلقة من الطرف الآخر ومحملة بحمل وحيد فى الطرف المطلق المذكور

فى القطع ذات القطاع العرضى المتماثل (الذى على شكل مستطيل أو دائرة أو على شكل ضعف حرف T) يسلم بأن

محور

محور المحمول منطبق على الخيط المحوري وحينئذ فالبعد الاعظم ء الذي يفصل الخيط المتطرف عن محور المحمول يكون مساويا الى نصف ارتفاع القطعة $\frac{ه}{٢}$ وحينئذ فمعادلة التوازن السابقة تؤول الى

$$\frac{م\,ع}{\frac{ه}{٢}} = ق \times ل \quad \text{ومنها يحدث} \quad م = \frac{ق\,ل\,ه}{٢\,ع}$$

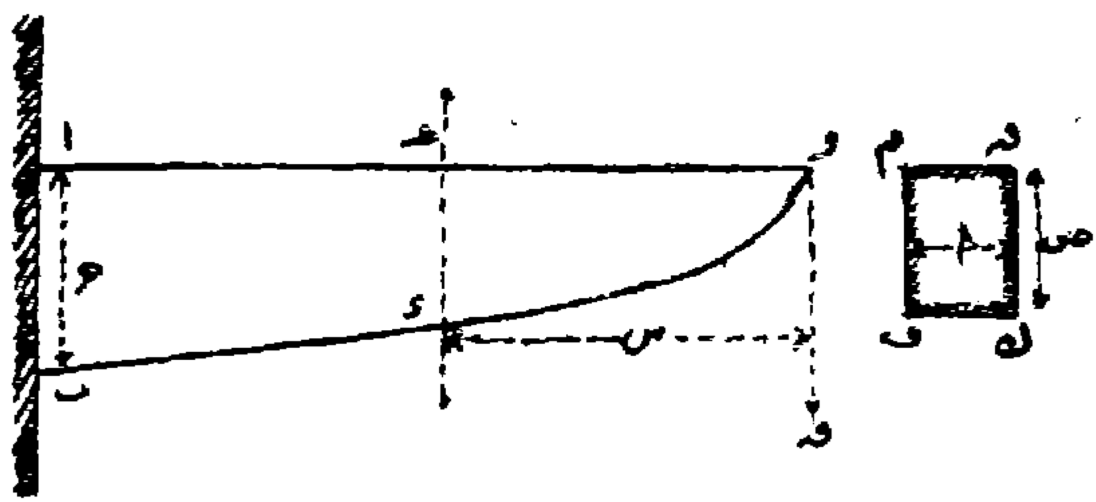
فاذا كان القطاع العرضي ثابتا يرى ان الشدة الاعظم م تكون مناسبة الى الطول ل وتكون معدومة في النهاية المطلقة للقطعة وأعظم ما يمكن بالقرب من قطاع التثبيت

ويرى بداهة انه اذا كان القطاع في جميع طول العتب مثل القطاع الذي يقاوم الحمل الأعظم بالقرب من التثبيت فانه يكون قويا كثيرا وشغل المعدن يكون رديء الاستعمال

وبناء على هذا الملحوظ توجهت الفكرة الى الاشكال التي تسمى بالاجسام المتساوية المقاومة التي فيها تكون الشدة الاعظم م ثابتة في جميع القطاعات العرضية ولنمثل لذلك بجملة امثال فنقول

المثال الأول ـ لنفرض قطعة مثبتة في ا ب قطاعها العرضي مستطيل عرضه ثابت وارتفاعه متغير والمطلوب تعيين المنحنى ب ء و بحيث تكون الشدة الاعظم م ثابتة في جميع القطاعات العرضية

ولذلك يقال أن القطاع العرضي الحادث من المستوى حـ ء هو مستطيل م ن ف ك عرضه ا هو العرض الثابت للقطعة وارتفاعه ص وان هذا القطاع على بعد س من طرف العتب وهذا البعد عبارة عن ذراع القوة الخارجة ق الواقعة على القطعة المفروضة وحينئذ فالشدة الاعظم م في القطاع حـ ء المذكور تكون معينة من المعادلة



$$م = \frac{ق\,ص \times س}{٢\,ع} \quad \text{بموجب ما تقدم}$$

وحيث ان ع هو عزم تصور مستطيل بالنسبة لمحوره فيساوي $\frac{١}{١٢}$ ا ص^{٣} وحينئذ مقدار م يؤول الى

$$م = \frac{٦\,ق\,س}{ا\,ص^{٢}}$$

وحيث ان مقدار م هذا يلزم ان يكون ثابتا مهما كان القطاع فيوجد بين المتغيرين س ، ص الارتباط الآتي وهو

$$م\,ا\,ص^{٢} = ٦\,ق\,س \quad \ldots\ldots \quad (١)$$

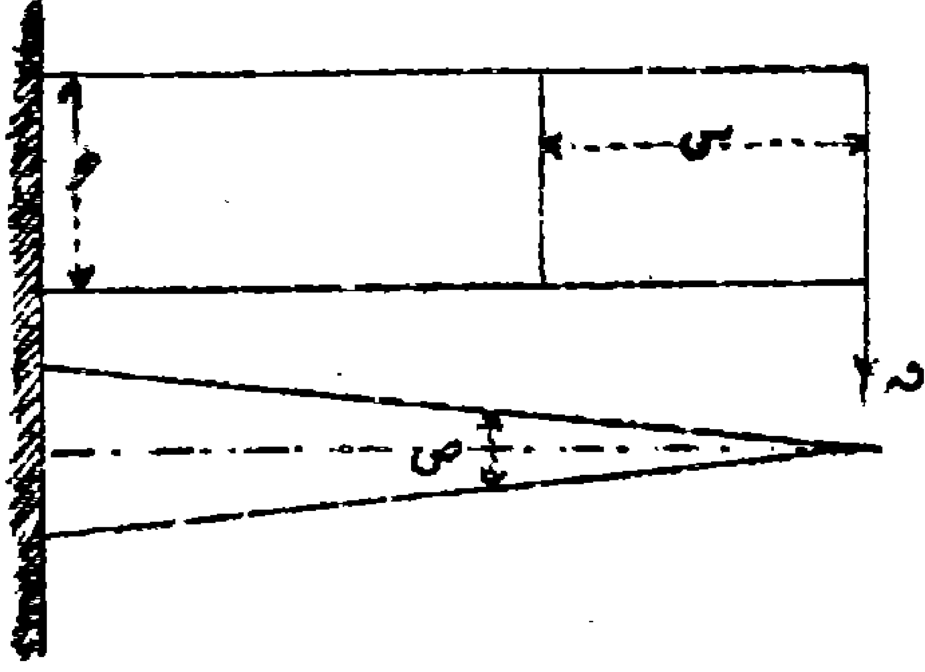
ولكن حيث ان الكميتين س ، ص هما احداثيا نقطة ء بالنسبة للمحورين المتعامدين و ا ، و ب فمعادلة (١) تدل على المحنى السفلي للجسم المفروض ويكون قطعا مكافئا من الدرجة الثانية محوره الافقي و ا

المثال الثاني ـ ليكن المطلوب تكوين الجسم المتساوي المقاومة بطريقة أخرى بأن نجعل للعتب ارتفاع ثابت ه عوضا عن ص وعرض متغير ص عوضا عن ا وحينئذ فمعادلة (١) تتغير بالصورة الآتية

$$م\,ص\,ه^{٢} = ٦\,ق\,س$$

ويرى من هذه المعادلة ان النسبة $\frac{ص}{س}$ تكون ثابتة أعني انه في المسقط تكون القطعة التي ارتفاعها ثابت

آيلة الى مثلث متساوى الساقين قاعدته فى محل المثبت ونقطة
رأسه هى نهاية العتب



المثال الثالث - ليكن المطلوب تكوين الجسم المتساوى المقاومة
بشكل آخر بأن يجعل جميع القطاعات المستطيلة العرضية
متشابهة أعنى ان النسبة بين ابعادها تكون ثابتة
ولذلك يقال ان معادلة

$$م\ ع\ ص^2 = ٦\ ه\ س \quad ...... (١)$$

يجب ارتباطها بمعادلة

$$\frac{ص}{ع} = ك \quad ...... (٢)$$

الناشئة عن شرط التشابه
وبحذف ص من معادلتى (١) و (٢) يحدث

$$م\ ك^2 ع^3 = ٦\ ه\ س \quad ..... (٣)$$

وهى معادلة شكل القطعة مسقوطا على الأفق ويفهم منها أن
الشكل المذكور قطع مكافئ من الدرجة الثالثة محوره خط الوسط م ﻫ للقطعة
وبحذف ع من معادلتى (١) و (٢) يحدث

$$م\ ص^3 = ٦\ ك\ ه\ س \quad ..... (٤)$$

وهو معادلة شكل القطعة مسقوطا على المستوى الرأسى ويفهم منها انه قطع مكافئ آخر من الدرجة الثالثة
المثال الرابع - ليكن المطلوب تكوين الجسم المتساوى المقاومة بحيث يكون تحركيا حول الافقى م ﻫ
ولذلك يقال انه بناء على ما تقدم يكون مقدار الشدة الاعظم
فى القطاع ﺣ ء معينة من القانون

$$م = \frac{ه\ ص\ س}{٢\ ﺣ} \quad ..... (١)$$

وحيث ان فى هذا القانون ﺣ هو عزم قصور دائرة القطاع
العرضى بالنسبة لقطرها الافقى وحيث ان ص هو قطر الدائرة
المذكورة فيكون مقدار عزم القصور المذكور هو

$$ﺣ = \frac{ط}{٦٤} ص^4$$ وحينئذ معادلة (١) تؤول الى

$$م = \frac{٣٢\ ه \times س}{ط\ ص^3} \quad ...... (٢)$$

وحيث أن م ثابت فى جميع القطاعات العرضية فيتعين القطاع الجانبى للقطعة المفروضة بالمعادلة

$$ط\ م\ ص^3 = ٣٢\ ه \times س$$

وهو معادلة قطع مكافئ من الدرجة الثالثة ا ﺣ ه ء ب سهل التعيين نقطة فنقطة وفى العمل قد يستعاض
الخط

الخط الجانبي المذكور بمستقيمين متقاطعين وحينئذ فالسطح التحركي المفروض يؤول الى سطح مخروط ناقص بسيط

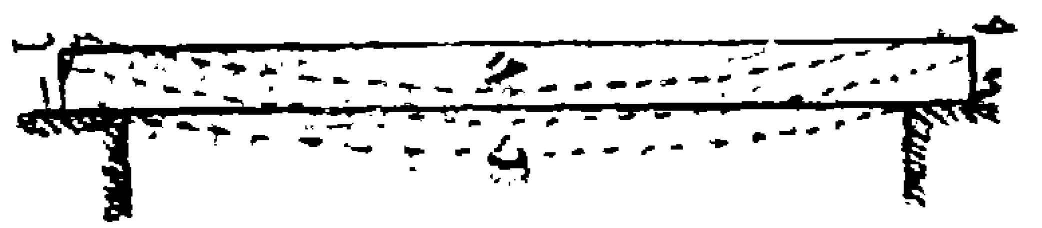
في الحالة التي تكون فيها القطعة مثبتة من أحد الطرفين ومطلقة من الطرف الآخر وشكلها متساوي المقاومة فأنه مهما كانت القوة المؤثرة على القطعة المذكورة يحسب سهم الانحناء للطرف المطلق لها بناء على المعادلة العمومية لسهم الانحناء من المعادلة الآتية وهي

$$ف = \frac{م ل^2}{و هـ}$$

التي فيها هـ رمز للارتفاع الثابت للقطاع ، ل رمز لطول القطعة ، م رمز لمعامل المقاومة الثابت ، و رمز لمعامل المرونة كما تقدم

في مقاومة الأعتاب المنشورية الموضوعة بالحرية على نقطتي الارتكاز

باتباع ما أجريناه بالنسبة للقطعة المثبتة من أحد الطرفين ومحملة بثقل من الطرف الآخر في اتباع حالة القطعة الافقية التي شكلها متماثل وموضوعة على نقطتي ارتكاز ومحملة بحمل واحد واقع في نقطة حيثما اتفقت منها أو بجملة أحمال مختلفة مع التسليم بأن محور الحمول متحد مع الخيط المركزي للقطعة وأن التغير حاصل كما هو مبين في الشكل بحيث يكون النصف العلوي للقطعة بتمامه مضغوطا والنصف السفلي بتمامه متأثرا بالشد نرى ان عزم مقاومة القطاع في أي نقطة من طول القطعة المذكورة مساويا الى $\frac{م ع}{ى}$ الذي يلزم أن يكون مساويا لمجموع عزم القوى الخارجة



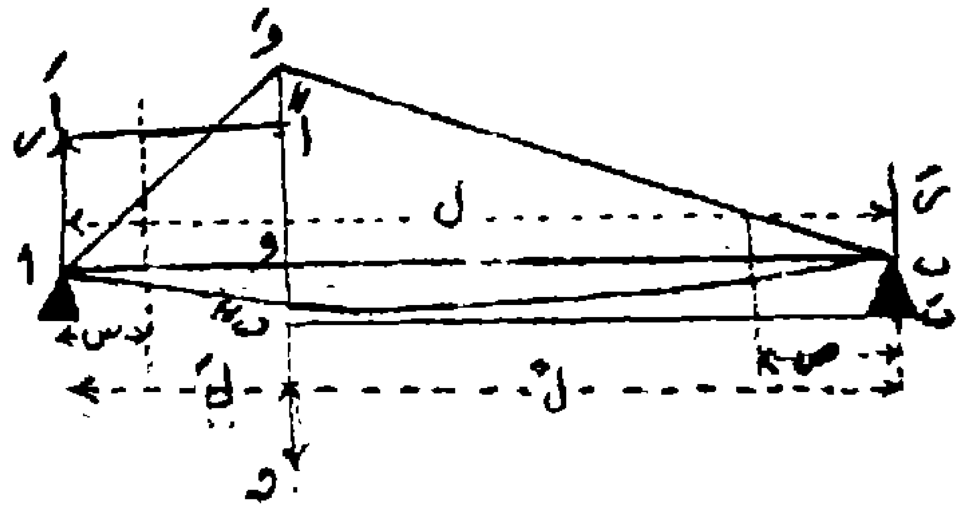
الحالة التي يكون فيها العتب محملا بثقل أو حمل واحد ق واقع في نقطة حيثما اتفق منه مثل و

لحساب العتب في هذه الحالة نعين أولا مقدار كل من ردي الفعلين ر ، رَ لنقطتي الارتكاز ا ، ب بناء على ما تقدم في علم الميكانيكا بواسطة هاتين المعادلتين

$$ر = \frac{ق لَ}{ل} \quad ، \quad رَ = \frac{ق ل}{ل}$$

مع ملاحظة ان ردي الفعلين المذكورين يحققان المعادلة

$$ق = ر + رَ$$



وبقطع النظر عن نقطتي الارتكاز نرى ان العتب يمكن اعتباره متأثرا من ا الى و بحمل قاطع ثابت مساو ر وحينئذ يكون الخط البياني للحمل القاطع المذكور مستقيما موازيا لمحور العتب ومتباعد عنه ببعد مساو ر وليكن ذلك المستقيم هو ا اَ ولكن في نقطة تأثير القوة ق ينقص الحمل القاطع المذكور دفعة واحدة بكمية اَ ثَ = ق وحينئذ فيكون مبينا من و الى ب بمستقيم بَ ثَ موازٍ للمحور ومتباعدا عنه بمقدار ق - ر أعني بطول و ثَ = رَ

وحينئذ فالخط ١١ أَ أَ تَ ت يكون هو الخط البيانى الكلى للأعمال القاطعة الذى بواسطته يعلم مقدار الحمل القاطع فى اى نقطة من محور العتب

وكذا اذا افرضنا بأن العتب مثبت بتأثير القوتين ق ، ر يرى أن عزم الانحناء ع لقطاع موجود على بعد س من النهاية ١ يساوى ر س أو أن $ع = \frac{لَ س}{ل} ق$

وحيث ان هذا العزم مناسب للبعد س فيزداد بكيفية مسترة منتظمة من المقدار صفر الى المقدار ر لَ من النقطة ١ الى النقطة و وحينئذ اذا أقيم من النقطة الأخيرة الرأسى و وَ وأخذ عليه بمقياس اختيارى مقدار مساوٍ للحاصل ر لَ فأن الخط البيانى لعزم الانحناء المحصورة بين ١ ، و يكون هو المستقيم ١ وَ وبالمثل عزم انحناء قطاع موجود على بعد ص من النهاية ت يكون مساويا الى رَ ص لمن نقطة ت الى نقطة و وهذا العزم يزيد بكيفية مسترة منتظمة من صفر الى رَ لَ أعنى ان فى نقطة و يكون مبينا أيضا بالأحداث الرأسى و وَ حيث انه اذا اعتبر العتب مثبتا فى هذه النقطة فأنه يحدث معادلة التوازن الآتية

$$رَ لً = ر لَ$$

وحينئذ فالخط البيانى لعزم الانحناء يكون هو الخط ١ وَ ت ويرى من هذا الخط ان عزم الانحناء يكون دائما نهاية عظمى فى نقطة تأثير القوة ق وحينئذ فالقطاع المقابل لها يكون هو القطاع الخطر للعتب

وعلى هذا فعزم الانحناء الاعظم المقابل للقطاع المذكور يعين من المعادلة الآتية وهى

$$ع = \frac{لَ لً}{ل} \times ق \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (١)$$

وحينئذ فيمكن حساب قطاع العتب من المعادلة الآتية وهى

$$\frac{م ك}{ى} = \frac{لَ لً}{ل} \times ق$$

فاذا كان قطاع العتب مستطيلا ارتفاع هـ يكون

$$\frac{٢ م ك}{هـ} = \frac{لَ لً}{ل} ق \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (٢)$$

بحيث يلاحظ دائما ان مقاومة القطاع تكون أكبر أو مساوية للحمل القاطع $١ وَ = ر = \frac{ق لً}{ل} = ح$ أعنى اذا رمز للقطاع بحرف ت يكون

$$\frac{ح}{ت} \leqq م$$

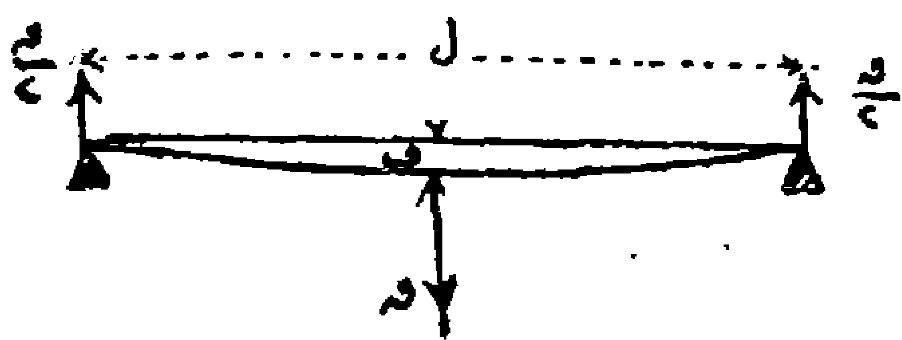
الحالة التى يكون فيها الحمل واقعا فى الوسط

حيث ان طول العتب ل ثابت فالنهاية العظمى لمقدار ع لمعادلة (١) توجد حينما يكون $لَ = لً = \frac{١}{٢} ل$ وحينئذ يكون

$$ع = \frac{ل^٢}{٤ ل} ق = \frac{١}{٤} ل ق$$

وتؤول معادلة (٢) الى

$$\frac{٢ م ك}{هـ} = \frac{١}{٤} ل ق$$

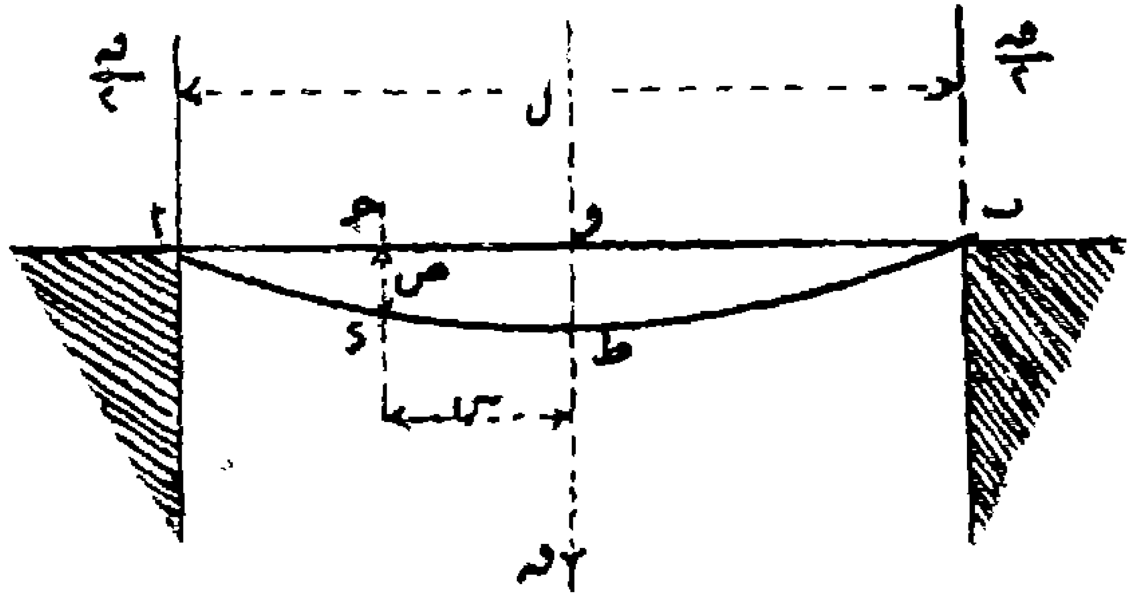


التى يحسب منها ابعاد القطاع ت الذى يلزم تحقيقه دائما بالحمل القاطع الذى مقداره فى هذه الحالة يساوى $\frac{ق}{٢}$

وأما سهم الانحناء فانه يحسب في هذه الحالة من المعادلة الآتية وهي

$$ف = \frac{ق ل^٣}{٤٨ ع م} = \frac{١}{٦} \frac{م ل^٢}{ع م} = \frac{ق ل^٣}{٢٤ ع م}$$

ولأجل ان يعطى في هذه الحالة للعتب شكل جسم متساوي المقاومة بشرط أن يكون وجهه العلوي افقيا وشكل القطاع منتظما بحيث يكون عرضه ثابتا ا وارتفاعه متغير ص عوضا عن ه يؤخذ قطاع حد على بعد س من الرأسي وه وحينئذ فمعادلة التوازن تؤول الى



$$\frac{٢ م ع}{ص} = ق س - \frac{ق}{٢}(\frac{ل}{٢} + س)$$ أو

$$\frac{٢ م ع}{ص} = \frac{ق س}{٢} - \frac{ق ل}{٤} = ق (\frac{س}{٢} - \frac{ل}{٤})$$

وحيث ان عزم القصور $ع = \frac{١}{١٢} ا ص^٣$ فالمعادلة تؤول الى

$$\frac{م ا ص^٢}{٦} = ق (\frac{س}{٢} - \frac{ل}{٤})$$

وحينئذ شكل العتب من أسفل يكون قطعا مكافئا من الدرجة الثانية ا ط ب وقد يمكن البحث عن الاشكال الأخرى المتساوية المقاومة كما اجريناذلك في القطعة المثبتة من احد طرفيها

الحالة التي يكون فيها العتب محملا بجملة احمال في آن واحد

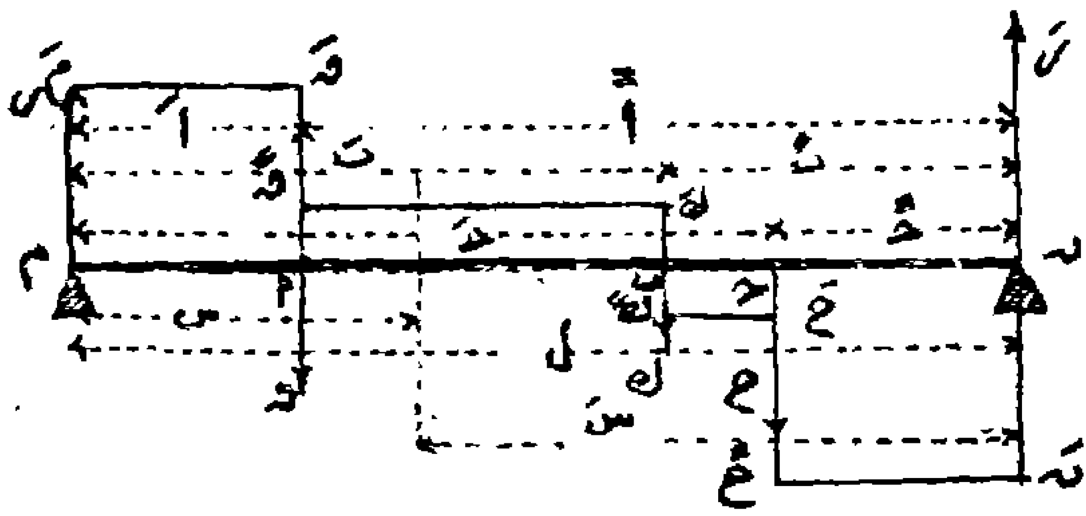
اذا كان العتب محملا بجملة أحمال مثل ق ، ك ، ح ، ... الخ مؤثرة في آن واحد في جملة نقط معينة من محوره يبتدأ بتعيين مقداري ردي الفعل ر ، رَ لنقطتي الارتكاز بواسطة الارتباطات العمومية للتوازن وهي

$$ر ل = ق أ + ك ث + ح خ + \ldots \text{ الخ } ١$$

$$رَ ل = ق أَ + ك ثَ + ح خَ + \ldots \text{ الخ } ١$$

$$ر + رَ = ق + ك + ح + \ldots \text{ الخ}$$

ومتى صار تعيين ردي الفعل فانه يتعين الخط البياني للأحمال القاطعة مباشرة وحينئذ من النقطة م الى ا يكون الخط البياني للأحمال القاطعة مبينا بالمستقيم مَ قَ الموازي لمحور العتب والمتباعد عنه بمقدار ر ومن قَ هذا الخط ينقص دفعة بالكمية قَ قً المساوية الى ق ويكون مبينا حينئذ من ا الى ب بالموازي الى المحور قً كَ وهكذا



وأما من جهة عزم الانحناء لقطاع موجود على بعد س من النهاية ا فانه يكون مبينا بالمعادلة

$$ع = ر س - ق (س - أ) = (ر - ق) س + ق أ$$

ويرى من هذا القانون انه فيما بين نقطتين متتابعتين من تأثير الأحمال يكون الخط البياني لعزم الانحناء مبينا بمستقيم ميله يتعلق بوضع النقطتين المذكورتين

وحينئذ يكفي لرسم الخط البياني التام لعزم الانحناء أن يعين مقدار العزم المذكور في كل نقطة من نقط تأثير الأحمال

وقد يختصر هذا التحديد كثيراً بالاعتبارات الآتية

نظرية - ان الخط البيانى التام لعزم الانحناء المنسوب لعدد حيثما اتفق من الأحمال يحصل بتحصيل حاصل جمع العزم المقابلة للخطوط البيانية لكل من هذه الأحمال ولبيان ذلك يوضع فى القانون الأخير بدلا عن ر مقدارها المستخرج من المعادلة الأولى من معادلات التوازن السابق فيحدث

$$ع = \frac{ه\, \bar{أ}\, س}{ل} - ه(س - أ) + \frac{ك\, \bar{ك}}{ل}\, س + \frac{ح\, \bar{ح}}{ل}\, س + \dots \text{الخ}$$

ثم يعوض فى الحدين الأوليين من الطرف الثانى بدلا عن $\bar{أ}$ مقدارها وهو (ل - أ) وبدلا عن (ل - س) مقدارها $\bar{س}$ وبعد اجراء التحليلات والاختصار يحدث

$$ع = \frac{ه\, أ\, \bar{س}}{ل} + \frac{ك\, \bar{ك}\, س}{ل} + \frac{ح\, \bar{ح}\, س}{ل} + \dots \text{الخ}$$

ويرى جليا من هذه المعادلة أن عزم الانحناء و$\bar{و}$ لقطاع موجود على بعدى س، $\bar{س}$ من نهايتى الخشب يكون مساويا الى حاصل جمع عزم الانحناء و$\bar{أ}$، و$\bar{ت}$، و$\bar{ح}$،... الخ المعينة بواسطة الخطوط البيانية للعزم المنسوبة لكل من القوى المفروضة ه، ك، ح .... الخ

نظرية - يمكن أيضا تكوين الخط البيانى التام للعزم على التتابع بأن يرسم الخط البيانى للعزم بالنسبة لمحصلة جميع الاحمال ثم يوصل من نقطة تقاطع امتداد الحمل الأول بالابتداء من احدى نقطتى الارتكاز مع الخط البيانى المذكور الى نقطة تقاطع امتداد محصلة باقى القوى مع الخط البيانى المذكور أيضا بمستقيم ثم يوصل مستقيم آخر بين نقطة تقاطع الحمل الثانى بالمستقيم المذكور وبين نقطة تقاطع محصلة باقى القوى من جهة نقطة الارتكاز الأخرى بالخط البيانى السابق ايجاده وهكذا

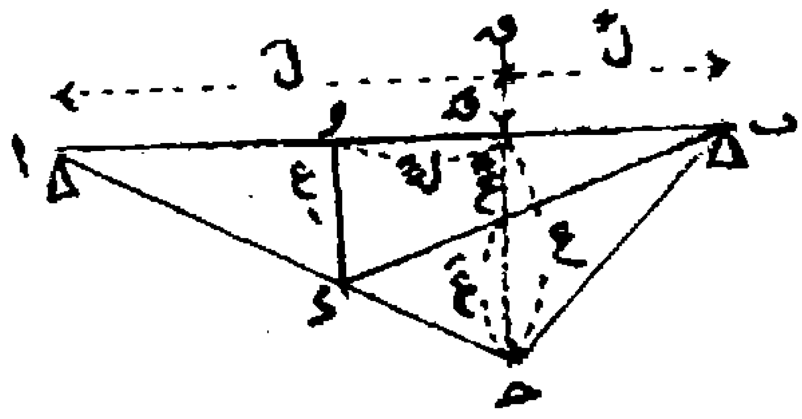
أعنى أنه اذا صار تعيين المحصلة $\bar{م}$ لجميع الأحمال ثم الخط البيانى م ج ن لعزم الانحناء المنسوب لنقطة تأثير المحصلة المذكورة فالجزآن م أ، ن ج للخط البيانى المذكور يكونان جزئين من الخط البيانى المطلوب ايجاده حيث انه بين هاتين النقطتين وبعض نقطتى الارتكاز عزم الانحناء لا يتعلق الا بردى الفعلين ر، $\bar{ر}$ وباعتبار الاتجاه أ أ بعد ذلك للحمل الأول وتعويض باقى الأحمال بالمحصلة التى اتجاهها هـ هـ فالخط البيانى المقابل لهذه الحالة يكون بناء على ما تقدم هو م أ هـ ن وحيث أن الخط البيانى فيما بين النقطتين م، ب لا يتعلق الا برد الفعل ر وبالحمل ه فالمستقيم أ ب يكون جزءا من الخط البيانى المطلوب وهكذا فهذه الطريقة الاخيرة لا تحتاج الا الى تعيين عزم انحناء واحد فقط

ولنذكر أيضا النظريتين الآتيتين

نظرية - كل جزء من الخط البيانى للعزم محصور بين نقطتين يدل بالنسبة للخط الواصل بين هاتين النقطتين على الخط البيانى لعزم الجزء المقابل له من المنشور معتبرا هذا الجزء كمرتكز على نقطتى ارتكاز فى النقطتين المذكورتين

المذكورتين ومحملا بالأحمال المقابلة له

ويكفى اثبات هذه النظرية بالنسبة لكل جزء محصور بين نقطة واحدى نهايتى الخط البيانى المنسوب الى حمل ه وبناء على ما تقدم فالاثبات يمكن تطبيقه مباشرة على كل جزء محصور بين النقطة الأولى ونقطة أخرى وعلى كل خط بيانى كثير التشعب



ولذلك نفرض ان أ ح ب هو الخط البيانى التام المنسوب للحمل ه وأن ب ح ء هو الجزء المعتبر.

فنعتبر رموز الشكل ونبرهن على أن عَ هو العزم المنسوب لنقطة تأثير الحمل ه على المنشور ب و.

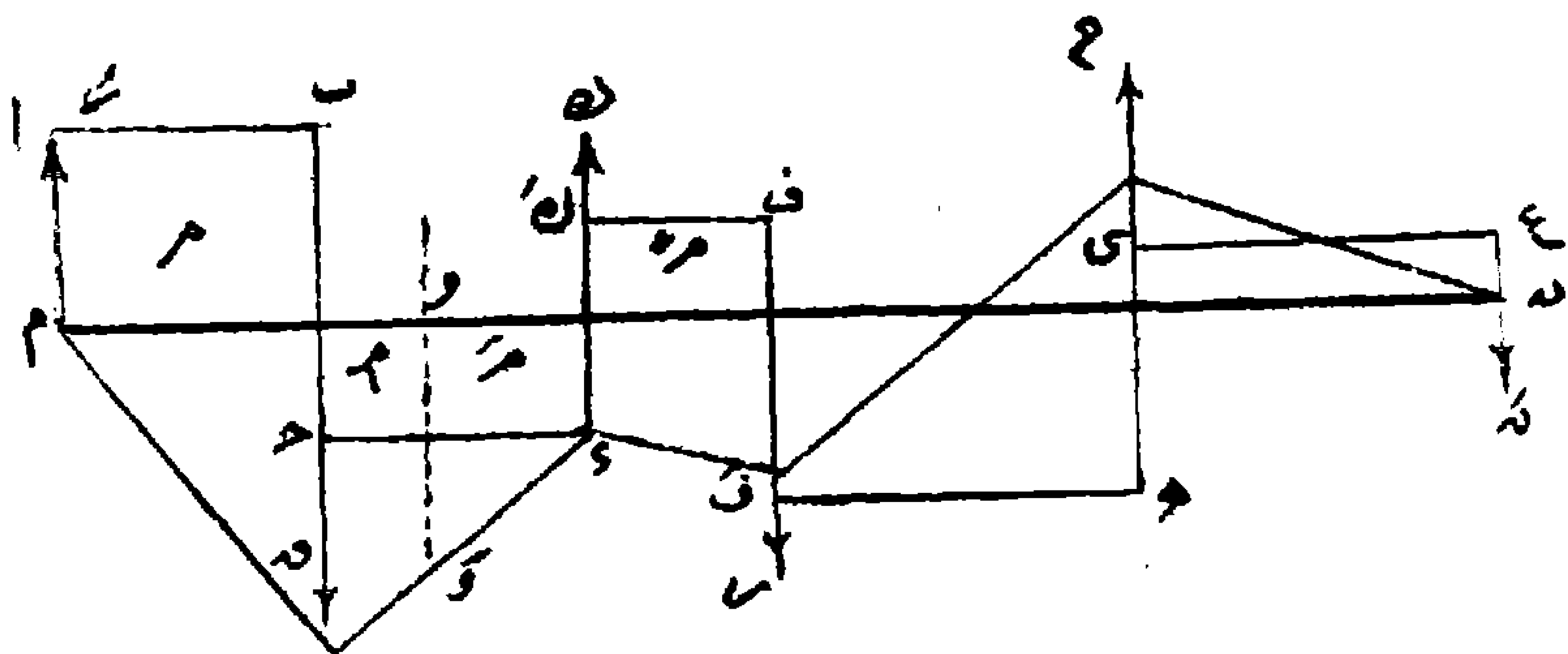
فنقول أن $\text{عَ} = \text{ع} - \text{عً}$ ،

$$\frac{\text{عً}}{\text{ع}_1} = \frac{\text{لً}}{\text{لً} + \text{لٌ}} \text{ ، } \frac{\text{ع}_1}{\text{ع}} = \frac{\text{لَ} - \text{لً}}{\text{لَ}} \text{ ، } \text{ع} = \frac{\text{لَ لً}}{\text{لَ} + \text{لً}} \text{ ه}$$

وبحذف عً ، ع١ ، ع يحدث $\text{عَ} = \frac{\text{لَ لً}}{\text{لَ} + \text{لً}} \text{ ه}$ وهذا يثبت صحة النظرية

نظرية - عزم الانحناء فى أى نقطة من منشور متأثر بقوى انحناء يكون مبينا بسعة تربيعية من الشكل البيانى للقوة القاطعة محصورة تلك السعة بين هذه النقطة وبين أحدى نهايتى المنشور

لأنه اذا فرضنا ان م ه هو المحور الافقى لمنشور نفرضه لزيادة التعميم انه متأثر بقوى انحناء خاصة متجهة فى كل من احدى الجهتين فى اتجاه الخط الرأسى فالشكل البيانى م أ ب ح ء ... للقوة القاطعة المرسوم حسب القواعد السابقة يحدد فى كل من جهتى محور المنشور جملة سعات مستطيلة م ، مَ ، مً ... لكن اذا أعطينا السعات الموجودة فى احدى جهتى محور المنشور اشارة مخالفة لاشارة السعات الموجودة فى الجهة الأخرى يفهم بالسهولة أن عزم الانحناء



ورَ لقطاع حيثما اتفق (و) يمكن ان يبين ايضا بالمجموع الجبرى لسعات م ، مَ ، ..... المحصورة بين هذا القطاع واحدى نهايتى المنشور وينتج من هذه الخاصية القاعدتان المهمتان جدا الآتيتان

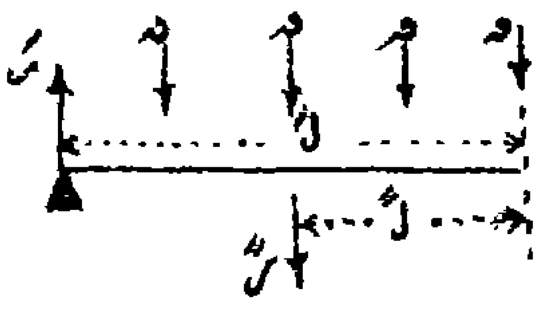
اولا - ان عزم الانحناء يصل نهايته الكبرى أو الصغرى فى النقط التى يتقابل فيها الخط البيانى للقوة القاطعة مع المحور الأصلى للمنشور

ثانيا - ان عزم الانحناء يصير معدوما بمعنى ان المنشور لا يحدث له أدنى انحناء فى النقطة التى فيها مجموع سعات الشكل البيانى للقوة القاطعة الموجودة فى احدى جهتى محور المنشور يكون مساويا لمجموع السعات

الموجودة في الجهة الاخرى من المحور المذكور

الحالة التي يكون فيها العتب محملا بأحمال موزعة بالتساوي

حيث أن في هذه الحالة تكون الأحمال المتساوية و متباعدة بالتساوي عن بعضها وعن نهايتي المنشور فعزم الانحناء يكون نهاية عظمى في وسط المنشور ومقداره العمومي يكون



$$\text{ع} = \text{ر}'\,\text{ل}' - \text{ر}''\,\text{ل}''$$

بالرمز بحرف $\text{ر}'$ لرد فعل نقطة الارتكاز ، $\text{ل}'$ لذراع رافعته ، $\text{ر}''$ للحمل الواقع في نصف العتب ، $\text{ل}''$ لذراع رافعته

ثم نفرض ان طول العتب بين نقطتي ارتكازه هو ل وان ن هو عدد الاثقال و فاذا كان ن فرديا يكون

$$\text{ر}' = \tfrac{1}{2}\,\text{ن}\,\text{و} \ ،\ \text{ر}'' = \tfrac{1}{2}(\text{ن}-1)\,\text{و} \ ،$$

$$\text{ل}' = \tfrac{1}{2}\,\text{ل} \ ،\ \text{ل}'' = \tfrac{1}{4}\,\text{ل}$$

وبأدخال هذه المقادير في المعادلة العمومية السابقة يحدث

$$\text{ع} = \tfrac{1}{8}(\text{ن}+1)\,\text{و}\,\text{ل}$$

والنسبة بين هذا العزم وبين العزم الناشئ عن الحمل الكلي ن و الموضوع في وسط المنشور هي

$$\frac{1}{2}\,\frac{\text{ن}+1}{\text{ن}}$$

فاذا كان ن زوجيا يكون

$$\text{ر}'' = \tfrac{1}{2}\,\text{ن}\,\text{و} \ ،\ \text{ل}'' = \tfrac{1}{4}\,\text{ل} - \frac{\text{ل}}{4(\text{ن}+1)} \quad \text{أو}$$

$$\text{ل}'' = \frac{\text{ن}\,\text{ل}}{4(\text{ن}+1)}$$ وحينئذ يوجد بالسهولة أن

$$\text{ع} = \frac{1}{8}\,\frac{\text{ن}(\text{ن}+2)}{\text{ن}+1}\,\text{و}\,\text{ل}$$

ومقدار النسبة المشابهة للنسب السابقة يكون

$$\frac{1}{2}\,\frac{\text{ن}+2}{\text{ن}+1}$$

الحالة التي يكون فيها الحمل موزعا بانتظام على طول العتب او المنشور

اذا رمز لطول المنشور بحرف ل وكان $\text{و}'$ هو الحمل بالكيلوجرام الواقع على المنشور في وحدة الطول فالحمل الكلي يكون $\text{و}'\,\text{ل} = \text{و}$ ويتوزع بالتساوي على كل من نقطتي الارتكاز وحينئذ فالمقدار المشترك لردي فعل كل منهما يكون $\text{ر} = \tfrac{1}{2}\,\text{و}'\,\text{ل} = \tfrac{1}{2}\,\text{و}$

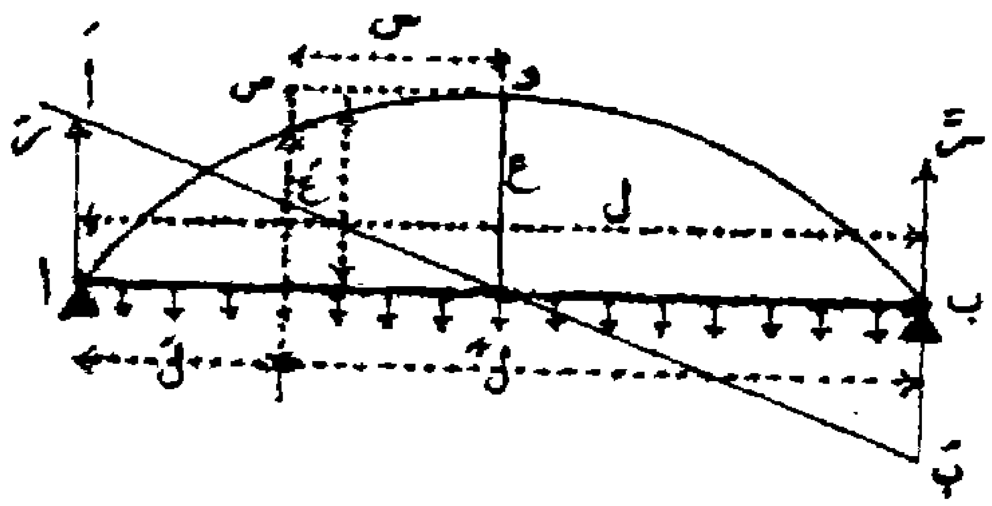
وعلى هذا فالحمل القاطع ح لقطاع موجود على بعد $\text{ل}'$ من احدى نهايتي المنشور يعلم من المعادلة الآتية وهي

$$\text{ح} = \text{ر} - \text{و}'\,\text{ل}' = \text{و}'\left(\frac{\text{ل}}{2} - \text{ل}'\right) \quad \text{أو}$$

$$\text{ح} = \frac{\text{و}}{\text{ل}}\left(\frac{\text{ل}}{2} - \text{ل}'\right)$$

وحينئذ

وحينئذ فالخط البيانى للأحمال القاطعة يكون مبينا بالمستقيم آ ت الذى يقابل المحور الأفقى للمنشور فى منتصفه وفى هذه النقطة الأخيرة يكون الحمل القاطع معدوما



وأما عزم الانحناء لقطاع موجود على بعد لَ من احدى النهايتين فيساوى عزم رد الفعل رَ مطروحا منه عزم الحمل قه لَ الموزع على الطول لَ الذى محصلته تمر بوسط الطول المذكور وحينئذ اذا رمز للعزم المذكور بحرف عَ يكون

$$عَ = رَ لَ - قه لَ \times \frac{لَ}{٢} \quad \text{أو}$$

$$عَ = \frac{قه لَ}{٢}(ل - لَ) = \frac{١}{٢} قه ل لَ = \frac{١}{٢}\frac{ق}{ل} ل لَ$$

وحيث أن عزم الانحناء يصل نهايته العظمى فى وسط المنشور فاذا رمزنا بالرمز ع للعزم الأعظم المذكور يحدث

$$ع = \frac{١}{٨} قه ل^٢ = \frac{١}{٨} قه ل$$

وبمقارنة هذه المقادير بالمقادير المقابلة لها فى الحالة التى يكون فيها الحمل وحيدا يرى أن عزم انحناء قطاع حيثما اتفق منسوب لحمل موزع بانتظام ليس الانصف عزم الانحناء المنسوب لحمل عينه الواقع بتمامه فى القطاع المذكور

وفى هذه الحالة الخط البيانى لعزم الانحناء يكون مبينا بمنحنى منته بنهايتى المنشور والاحداثى الرأسى الاعظم للمنحنى المذكور هو المقابل للقطاع المتوسط واذا نسبنا المنحنى المذكور لنهايته وللاحداثى الرأسى السابق ذكره يحدث

$$ص = ع - عَ = \frac{١}{٨} قه ل^٢ - \frac{قه ل لَ}{٢} = \frac{١}{٨} قه ل^٢ - \frac{قه}{٢}(\frac{ل}{٢} - س)(\frac{ل}{٢} + س)$$

$$\text{أو} \quad ص = \frac{١}{٢} قه س^٢ = \frac{١}{٢}\frac{ق}{ل} س^٢$$

وهى معادلة قطع مكافئ منسوب لرأسه

وأما سهم الانحناء فيتعين مقداره من المعادلة الآتية وهى

$$ن = \frac{٥}{٣٨٤} \times \frac{قه ل^٤}{م ك} = \frac{٥}{٢٤} \times \frac{قه}{م ك}(\frac{ل}{٢})^٤$$

الحالة التى يكون فيها الحمل موزعا بانتظام على جزء من طول المنشور

اذا فرض ان المنشور الذى طوله ل محمل فى جزء منه ء آ بحمل موزع بانتظام بحيث يكون الحمل بالنسبة للوحدة الطولية قدره قه فبناء على ما تقدم يتعين الخط البيانى للعزم احـ المنسوب لمحصلة ء قه آ المارة بمنتصف الطول ء آ

وحينئذ فالجزآن اء ، ب هـ من الخط المذكور المحصوران بين نقطتى الارتكاز وبين الرأسيين

المارين بنهايتى الطول المفروض يكونان من الخط البيانى المطلوب ولتكميل الخط المذكور تعين العزم المنسوب لتأثير الحمل الموزع بانتظام على المنشور فى الطول ٢أ بفرض أنه مرتكز بنهايتيه على حاملين مع نسبة هذه العزم للمستقيم ءهـ وحينئذ فيحصل على الخط البيانى التام لعزم الانحناء وهو اءهـب

ولنبحث الآن عن مقدار العزم الأعظم بالحساب ولذلك نرمز بالرمزين لَ ، لً لبعدى منتصف الجزء ٢أ عن نقطتى الارتكاز وحينئذ اذا رمزنا لرد فعل نقطة الارتكاز ا بحرف ر فأن العزم بالنسبة لقطاع متباعد عن نقطة الارتكاز المذكوره بمقدار س يكون مبينا بالمعادلة

$$ع = ر س - \frac{ق}{٢} (س + أ - لَ)^٢$$

وحيث ان رد الفعل ر يمكن تعيينه من المعادلة ر ل = ٢ ق أ لً فبوضع مقداره المستخرج من هذه المعادلة بدلا عنه فى المعادلة السابقة مع حذف الكمية (لَ - أ)^٢ اللازم طرحها يحدث

$$ع_س = \frac{ق}{٢} س (٢ أ + ٢ لَ - ٤ \frac{لَ}{ل} أ - س)$$

وحيث ان حاصل جمع المعاملات المتعلقة بالمتغير س ثابت فأن النهاية العظمى للعزم ع تقابل مقدار من المستخرج من المعادلة الآتية

$$س = ٢ أ + ٢ لَ - ٤ \frac{لَ}{ل} أ - س$$ ومنها يحدث

$$س = أ + لَ - \frac{٢ لَ}{ل} أ$$

وبوضع هذا المقدار فى معادلة العزم السابقة يكون

$$ع = \frac{ق}{٢} (أ + لَ - ٢ \frac{لَ}{ل} أ)^٢$$

ويقتضى ان يكون عزم مقاومة القطاع وهو $\frac{م ك}{ى}$ مساويا لمقدار ع ويحدث

$$\frac{م ك}{ى} = \frac{ق}{٢} (أ + لَ - ٢ \frac{لَ}{ل} أ)^٢$$

ومن هذه المعادلة تستخرج ابعاد القطاع

الحمل القاطع - لايجاد معادلة الحمل القاطع يقال أن

$$ح = ر - ق (س + أ - لَ)$$ أو

$$ح = ر - ق [س - (لَ - أ)]$$ وهى المعادلة المطلوبة

الحالة التى تكون فيها أحمال متدحرجة فوق العتب

الحالة التى يكون فيها الحمل وحيدا

متى تحرك حمل وحيد و ذو مقدار ثابت من احدى نهايتى المنشور الى النهاية الأخرى فأنه يحدث بالنسبة لوضع حيثما اتفق و عزم انحناء أعظم عَ مقداره

ع َ =

$$عَ = \frac{ه}{ل} \times لَ لً$$

وبالنسبة لوضع آخر وَ للحمل المذكور فأن عزم القطاع وَ يكون مبينا بالمعادلة

$$عَ = \frac{ه}{ل} \times لِ \times لً$$

أعنى أن العزم الأعظم لكل قطاع يقابل الحالة التى فيها يكون الحمل المتحرك موجودا فى القطاع المذكور وحينئذ يقتضى اعتبار هذه العزوم دون غيرها

وينتج من ذلك بناء على ما تقدم خاصية شهيرة جدا مخصوصة لكل حمل متحرك وهى أن التأثير بالنسبة للانحناء الناشئ عنه حمل متحرك من نهاية الى أخرى لمنشور مرتكز على نقطتى ارتكاز هو عين التأثير الناتج من حمل ضعف الحمل المذكور بحيث يكون موزعا بانتظام على طول المنشور بتمامه

وتتعين معادلة المنحنى البيانى للعزم بجعل نقطة حـ نقطة أصل الأحداثيات بالمعادلة

$$ص = ع - عَ = \frac{ه ل}{٤} - \frac{ه}{ل}\left(\frac{ل}{٢} + س\right)\left(\frac{ل}{٢} - س\right)$$

ومنها يجد

$$ص = \frac{ه}{ل} س^٢$$

وهى معادلة قطع مكافئ منسوب لرأسه

وأما مقدار الحمل القاطع الذى يكابده قطاع مثل و بتأثير الحمل ه فأنه يتعين من المعادلة

$$ح = \frac{ه لً}{ل} = \frac{ه (ل - لَ)}{ل} = \frac{ه}{ل}\left(\frac{ل}{٢} - لَ\right) + \frac{ه}{٢}$$

ويرى من ذلك أن الحمل القاطع يتغير من احدى النهايتين الى منتصف العتب بكيفية منتظمة من ه الى $\frac{ه}{٢}$ وحينئذ يكون الخط البيانى للحمل القاطع المذكور مبينا بالخط أ هـ هَ تَ

ويرى من المعادلة الأخيرة أيضا أنه فى حالة تأثير الحمل المتدحرج يكون الحمل القاطع هو عين حاصل جمع التأثيرات الناشئة عن الحمل عينه الذى يكون فى آن واحد موزعا بانتظام على طول العتب بتمامه ومؤثرا فى وسطه

ومتى تحرك حمل على منشور متأثر من قبل بعدة أحمال معينة فأن التأثيرات الناشئة من الحمل المتحرك تنضم على التأثيرات الناشئة من الأحمال الأصلية وحينئذ فى الحالة الخصوصية التى فيها يكون الحمل متحركا على منشور محمل من قبل بانتظام يكون الخط البيانى التام لعزم الانحناء منحنيا مكافئا أحد احداثياته الرأسية الحينما اتفق يكون مساويا لحاصل جمع الاحداثيين الرأسيين المقابلين له من المنحنيين المكافئين اللذين احدهما يدل على المنحنى البيانى للعزم المنسوب للحمل المتدحرج والآخر يدل على المنحنى البيانى للعزم المنسوبة للحمل الموزع بانتظام

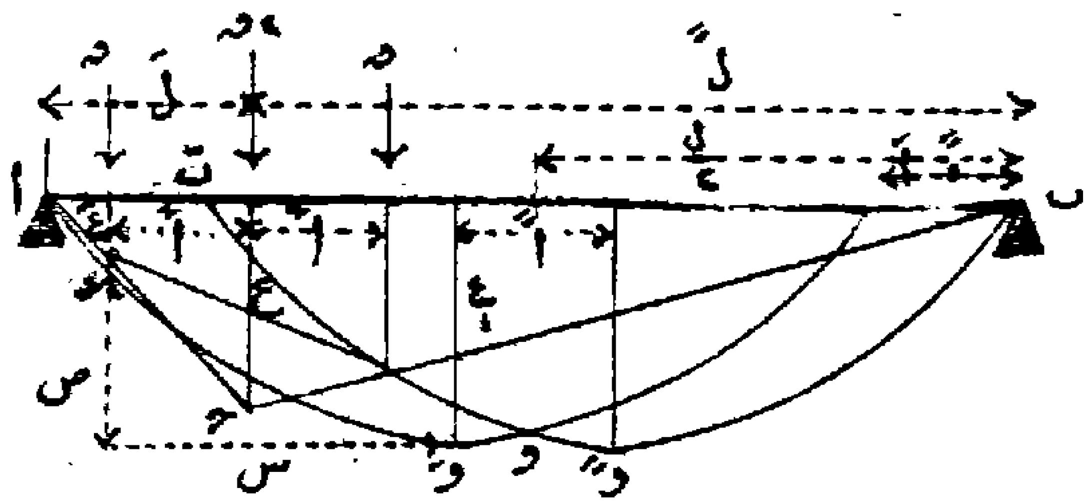
الحالة التى يكون فيها الحمل المتدحرج متجزئاً

قد يتأتى كثيرا ان الحمل المتدحرج يكون مجزأ بمعنى ان يكون موزعا على حسب نسب معلومة على جملة نقط

ابعادها النسبية ثابتة

ولنعتبر الحالة الأبسط ما يكون التي يكون فيها الحمل الذي قدره ٢ ده موزعا بالتساوى على نقطتين متباعدتين عن بعضهما بمقدار مساوٍ ٢ أً

ولنفرض ان عزم الانحناء الأعظم المنسوب لتأثير حمل قدره ٢ ده واقع فى نقطة متباعدة عن النهاية ا بالبعد لَ هو ع



فاذا فرض ان الحمل المذكور منقسم كما ذكرنا فى النقطتين المعتبرتين فأن الخط البيانى لعزم الانحناء عَ المنسوبة لهذا الحمل المنقسم يكون مبينا بالخط ا ء هـ ب وحينئذ لتعيين عزم الانحناء عَ المنسوب الى الحمل الأول ده مثلا توضع المعادلتان الآتيتان

$$\frac{عَ}{ع} = \frac{لَ - أً}{لَ} \quad ، \quad ع = \frac{٢ ده لَ لً}{ل} \quad \text{ومنها يحدث}$$

$$عَ = \frac{٢ ده لً (لَ - أً)}{ل}$$

وهذا العزم يكون نهاية عظمى فى النقطة التى يكون فيها لً = لَ - أً أعنى فى النقطة التى فيها

$$لَ = \frac{١}{٢} (ل + أً)$$

وبوضع هذا المقدار فى المعادلة السابقة يحدث

$$ع = \frac{٢ ده}{ل} \left(\frac{ل - أً}{٢}\right)^٢$$

فاذا نسبنا الخط البيانى للعزم المنسوبة للحمل الأول ده للنهاية وَ وللأحداثى الرأسى ع فأنه يحدث

$$ص = ع - عَ = \frac{٢ ده}{ل} \left[\left(\frac{ل - أً}{٢}\right)^٢ - (ل - لَ)(لَ - أً) \right]$$

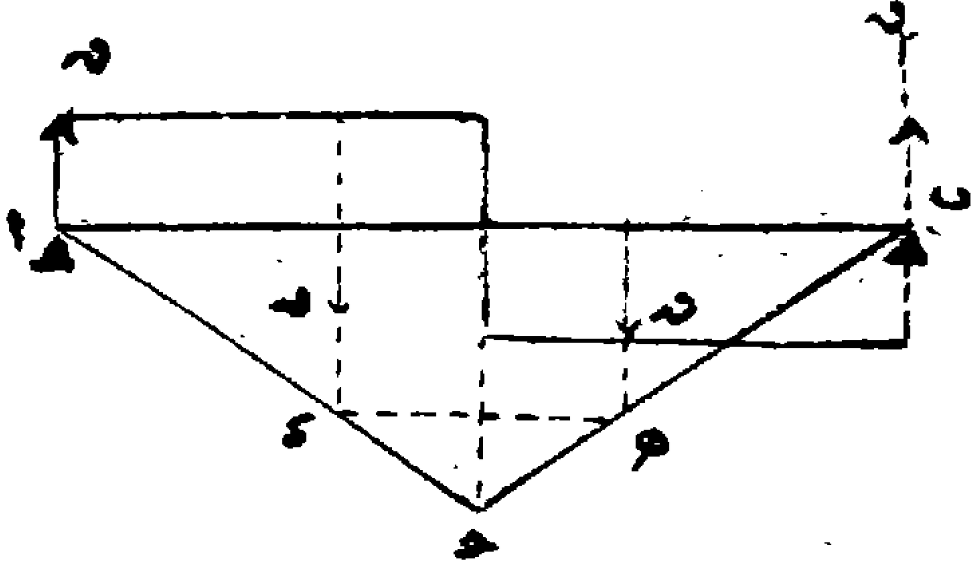
فاذا وضع عوضا عن لَ مقدارها المقابل لها وهو $\frac{١}{٢}$ (ل + أً) - س وأجرى التحليل والأختصار يحدث

$$ص = \frac{٢ ده س^٢}{ل}$$

وهو معادلة قطع مكافئ منسوب لرأسه وَ وحينئذ فالخط البيانى للعزم المنسوبة للحمل الأول ده يكون مبينا بالمنحنى المكافئ ا وَ أَ وبالمثل بسبب التماثل يكون الخط البيانى للحمل الثانى ده هو القطع المكافئ ب وً بَ ويستنتج من ذلك أن الخط البيانى لعزم الانحناء الأعظم للحمل المنقسم المفروض يكون مبينا بالخط ا وَ و وً ب

الحالة التى تكون فيها الأحمال المتدحرجة متماثلة الوضع بالنسبة لنقطتى الارتكاز

لنفرض ايضا الحالة التى يكون فيها حملان متساويان متحركين فى جهتين مختلفتين بحيث يوجدان على الدوام متباعدين بالتساوى من نهايتى المنشور وحيث ان محصلة الأحمال تمر فى هذه الحالة على الدوام بمنتصف المنشور فاذا رسمنا الخط البيانى للعزم ا ح ب المنسوب للمحصلة المذكورة فأن الخط البيانى الذى يعين للثقل ده عزما حيث ما اتفق يكون هو ا ء هـ ب الذى جزآه ا ء ، ب هـ متحدان مع الخط البيانى



البيانى السابق وحينئذ فالخط البيانى التام للعزم المنسوبة للأحمال المتدحرجة يكون هو ا د ب

وأما من جهة الخط البيانى التام للقوة القاطعة فمن السهل معرفة أنه هو عين الخط البيانى المحدد لمحصلة الأحمال

وبالجملة فأنه يشاهد أن التأثير الكلى المتحصل من تدحرج حملين متماثلين هو عين التأثير الكلى الناتج من توقيع الحمل بتمامه فى وسط المنشور

فى الأنثناء المركب للأعتاب المثبتة

مقدمة

العتب او المنشور يكون متأثرا بانثناء مركب متى كانت القوى المحدثة له الانثناء متجهة بكيفية بحيث أن انحنائه يحصل له تغيير فى الجهة من المتقعر الى المحدب بحسب اتجاه معلوم والنقطة التى فيها يحصل تغيير جهة الأنحناء تسمى بنقطة الانقلاب ولا يحصل فيها ادنى انحناء

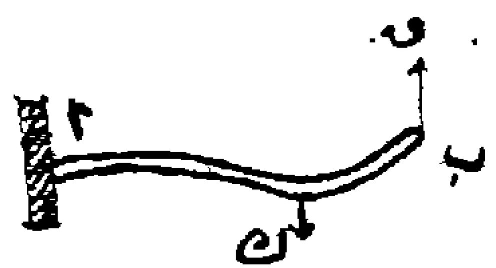
ثم ان عزم الانحناء الموجودة فى احدى جهتى نقطة الانقلاب تكون مغايرة فى الاشارة لعزم الأنحناء الموجودة فى الجهة الأخرى منها أعنى أن الخيوط تكون مستطيلة فى احدى جهتى النقطة المذكورة ومنكمشة فى الجهة الأخرى منها وبالعكس

وينتج من ذلك أمر مهم جدا فى الأنشاآت وهو أن الاشكال ذات المقاومة الاعظم ما يمكن لاتوافق الأعتاب المتأثرة بانحناء مركب والانثناء المركب هو مثل الحالة العمومية للأعتاب المثبتة أو موضوعة على أكثر من نقطتى ارتكاز مثل حالة العمدان والأقواس

وعلى العموم يحصل انثناء مركب متى كان العتب متأثرا بثلاث قوى متتابعة مختلفة الاتجاهات على التوالى أو متى كان بالابتداء من نقطة التثبيت الحقيقية أو الوهمية جزء من المنشور أو العتب متأثرا على الأقل بقوتين مختلفتى الأتجـــاه

وهذا يمكن حصوله من القوى الحقيقية أو من ردود افعال نقط الارتكاز أو النقط الثابتة

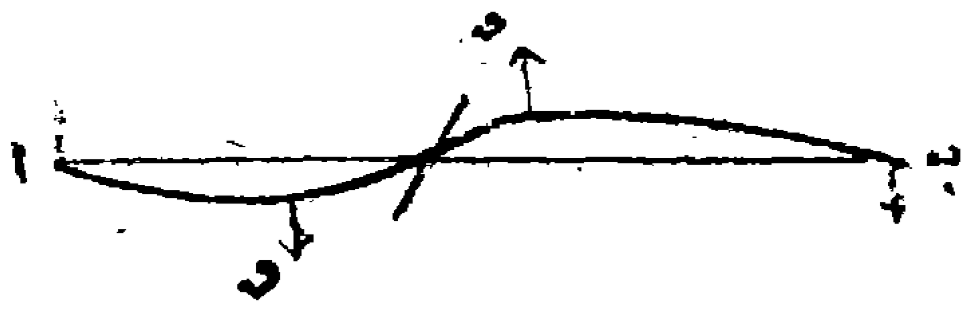
وحينئذ فالمنشور ا ب المثبت فى نقطة ا والمتأثر بالقوتين ق ، ك المختلفتى الأتجاه يحصل له انثناء مركب أعنى ان انحنائه يمكن أن يغير جهته



وهاك أيضاحا لتين بسيطتين جدا من هذا القبيل فيهما يمكن بالسهولة تعيين شروط المقاومة

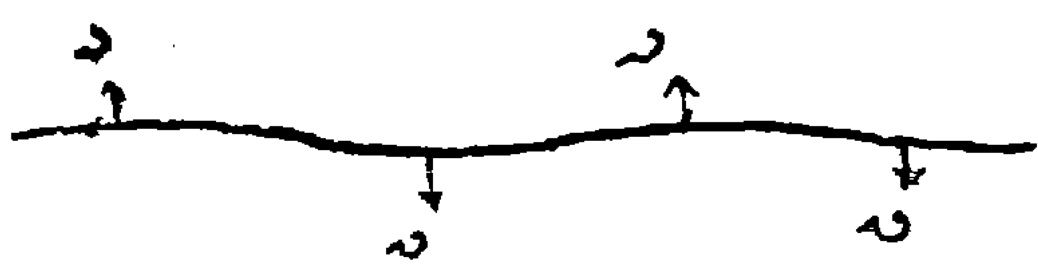
ولنفرض منشور ا ب موضوعا فى الأصل أفقيا بحيث تكون نهايتاه مجبورتين على البقاء على المحور الأصلى ثم نفرض أنه متأثرا فى نقطتين متباعدتين على التساوى من النهايتين بقوتين

رأسيتين متساويتين ومختلفتي الجهة



فيرى بالسهولة أنه بتأثير هاتين القوتين يحصل للمنشور انحناآن مختلفان وأنه بسبب التماثل فإن تغير الانحناء يحصل فى وسط المنشور على بعدين متساويين من القوتين الخارجيتين وحينئذ فالمنشور لا يحصل له انحناء فى وسطه قط وبعبارة اخرى يكون وسط المنشور نقطة انقلاب المنحنى الحاصل بتأثير القوتين المذكورتين أى نقطة لا يحصل فيها قط انثناء للمنشور

وحينئذ اذا فرض قطع المنشور المذكور فى هذه النقطة بمستوى مائل بميل مناسب فأنه نظرا لا يحصل اختلال التوازن وأن كلا من المنشورين المحصلين حينئذ يحدث للآخر نقطة ارتكاز



ولنفرض الآن منشورا طوله غير محدود متأثرا فى نقط متباعدة عن بعضها بالتساوى بجملة قوى انثناء خارجية متساوية ومختلفة الاتجاه على التوالى فبسبب التماثل يحصل بداهة للمنشور انقلاب فى كل نقطة من طوله موجودة على بعدين متساويين من نقطة تأثير قوتين متتابعتين

ويستنتج من ذلك بالسهولة أن العتب أو المنشور المثبت افقيا من نهايتيه والواقع عليه فى وسطه حمل وحيد حينما اتفق لا يحصل له ادنى انحناء فى ربع طوله بالابتداء من قطاعى التثبيت

وما ذكرناه من الأمثلة يستعمل مبدأ لدراسة متسعة من الانحناء المركب لكن النتائج المتحصلة حينئذ تكون طبعا غير تامة على الدوام وتقتضى أيضا اتخاذ الطريقة الاكثر عملية الشهيرة جدا المعروفة باسم سعة العزم التى سنذكر قواعدها الاساسية فنقول

القواعد الأساسية لسعة العزم

تعريف — نسمى سعة عزم بين نقطتين من عتب أو منشور مثلا السعة المحصورة بين خط الاحداثيات الافقية وبين الاحداثيين الرأسيين المتطرفين وبين الخط البيانى لعزم الانحناء فيما بين النقطتين المفروضتين

ونسمى خط مرن المنحنى الحادث لمحور المنشور المنثنى الذى كان فى الأصل مستقيما

النظرية الأولى — سعة العزم بين نقطتين يتعين بواسطتها الميل الحاصل بين المماسين فى النقطتين المذكورتين للمنحنى المرن



لأنه اذا فرض أن اب جزء من منشور منحن واعتبرنا (كما اجريناه ذلك فى دراسة الانحناء البسيط) دوران الأجزاء المتتابعة ل، ل، ل ..... الخ للمحور ورمزنا للزوايا الواقعة بين هذه الاجزاء الدائرة وبين بعضها على التوالى بالرموز ى، ى، ى .... الخ واعتبرنا أيضا الدوران السابق ذكره فأنه يمكن وضع المعادلات الآتية مع مراعاة صغر التغيرات الحاصلة فى الشكل وهى

طاقة

طا ىَ = ىَ = بَ / لَ = ٢ مَ / وهـ)

طا ىً = ىً = بً / لً = ٢ مً / وهـ

. . . .

وحينئذ يكون

مجـ ىَ = ى = ٢ / و مجـ مَ / هـ

ى رمز لحاصل جمع جميع الزوايا ىَ أعني رمز للزاوية الواقعة بين المماسين في النقطتين ا ، ب

اذا تقرر هذا نعتبر منشورا مخصوصا ارتفاعه وقطاعه ثابتان ونرمز لعزم الانحناء المتتابعة بالرموز ع١ ، ع٢ ، ع٣ .... وحينئذ يحدث

ع١ = مَ ذ ، ع٢ = مً ذ ..... (، ذ = ٢ / ع = معدل الانحناء)

وحينئذ يكون ى = ٢ / وذهـ مجـ ع١

ولكن حاصل جمع العزم ع هو بالضبط عين السعة المحددة بالخط البياني لهذه العزوم فحينئذ اذا رمزنا للسعة المذكورة بالرمز س فانه يحدث

ى = ٢ / وهـذ س = م س

بالرمز بحرف م للنسبة ٢ / ذوهـ

النظرية الثانية — عزم سعة العزوم بين نقطتين بالنسبة لأحدهما يتعين بواسطة مقدار المسافة الرأسية الكائنة بين هذه النقطة من المحور وبين المماس للمنحني المرن المار بالنقطة الثانية وبعبارة اخرى يتعين بواسطة العزم المذكور سهم الرأسي للنقطة الاولى بالنسبة لاتجاه التثبيت الحقيقي او التصوري للنقطة الثانية

لانه حيث أن السهم المذكور عبارة عن حاصل جمع جميع الانتقالات ىَ لَ فيكون

ف = مجـ ىَ لَ = ٢ / وهـ مجـ مَ لَ = ٢ / وهـذ مجـ ع لَ

ولكن مجـ ع لَ عبارة عن حاصل جمع عزم العناصر السطحية ع للسعة س بالنسبة لنقطة ب وحيث ان حاصل جمع هذه العزوم يساوي عزم السعة المذكورة بمعنى انه يساوي حاصل ضرب السعة س في البعد ص لمركز ثقلها عن النقطة ب فيكون

ف = م س ص

(تنبيه) في الحالة التي يكون فيها المماس في نقطة ا افقيا فان ف تدل على سهم الانحناء الحقيقي لنقطة ب بالنسبة لنقطة ا

ولنستعمل ابتداء هاتين القاعدتين في دراسة الانثناء المركب للاعتاب المثبتة فنقول

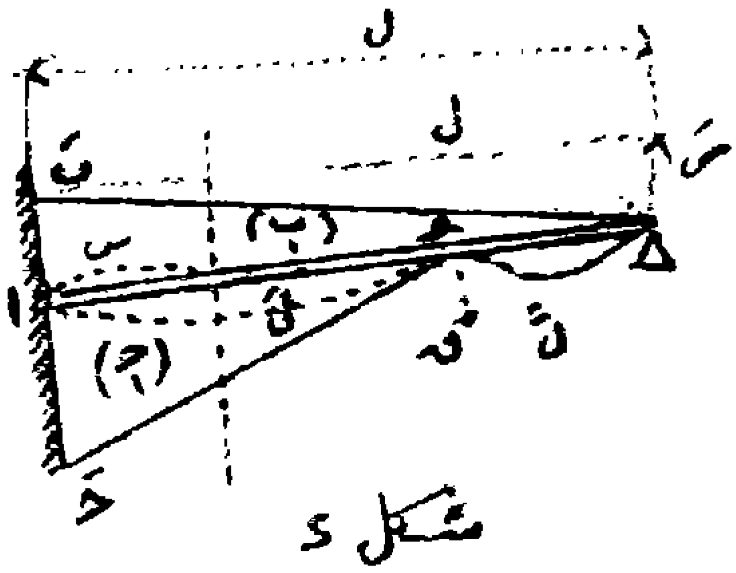
(في الأعتاب المثبتة من أحد الطرفين)

ومرتكزة من الطرف الآخر على نقطة ارتكاز

الحالة التي يكون فيها الحمل وحيدا

ليكن اب عتبا مثبتا افقيا في ا ومرتكزا في ب على نقطة ارتكاز موجودة في استواء نقطة التثبيت

ثم محملا فى حـ بحمل ه وحينئذ فنقطة الارتكاز تحدث رد فعل ر نبحث عن مقداره ابتداء ولذلك يقال أن القوتين ر ، ه يحدثان فى ا عزمى ا ت ، ا حـَ مختلفى الاشارة والخطان البيانيان لعزم هاتين القوتين مبينان بالمستقيمين ب ت ، حـ حـَ الموضوعين فى جهتى المحور وسعتا العزم المقابلتين لهما هما المساحتان ب ا ت ، حـ ا حـَ المختلفى الاشارة أيضا ولكن (ب) ، (حـ) هما سعتا العزم المذكورتان ، بَ ، حـَ هما بعدا مركزى ثقلهما عن نقطة ب على التناظر



شكل ٤

وبفرض أن ه ، ر غير معينتين فأن المعادلة العمومية لسهم الانحناء فى ب تكون هى

ف = م (حـ حـَ - ب بَ)

وحيث أن نقطة ب فى استواء نقطة التثبيت فالسهم فى هذه النقطة يكون معدوما أعنى يكون

ب بَ = حـ حـَ

ولكن ب = ½ ر لَ ، حـ = ½ ه لَ

و بَ = ⅔ ل و حـَ = لَ + ⅔ لَ

ثم وضع هذه المقادير فى المعادلة السابقة والتحليل يحدث

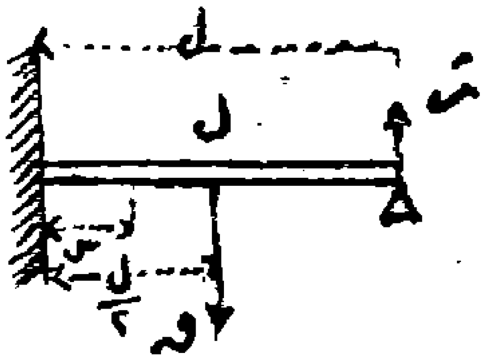
$$ر = \frac{1}{2}ه \frac{لَ^{2}(3ل^{2}+2لَ)}{ل^{3}}$$

ولنعتبر الحالة الخصوصية التى لا يكون فيها الحمل ه فى وسط المنشور وحينئذ فى هذه الحالة يكون

لَ = لً = ½ ل ومنها يحدث

$$ر = \frac{5}{16} ه$$

ومتى كان رد الفعل ر معلوما يمكن بالسهولة تعيين عزم الانحناء لنقطة موجودة على بعد س من نقطة التثبيت وحينئذ فى الحالة الخصوصية السابق ذكرها يكون



$$ع_{س} = ه (لَ - س) - ر (ل - س) \quad أو$$

$$ع_{س} = \frac{3}{16} ه ل - \frac{11}{16} ه س$$

وينتج من ذلك

أولا أن العزم فى نقطة التثبيت يتعين بجعل س = ٠ وحينئذ يكون ع = $\frac{3}{16}$ ه ل

وثانيا أن العزم فى نقطة تأثير الحمل يتعين بجعل س = ½ ل وحينئذ يكون ع = - $\frac{5}{32}$ ه ل

وثالثا حيث أن العزم يكون معدوما فى نقطة الانقلاب فيكون فى النقطة المذكورة ع = ٠ وعليه يكون

س = $\frac{3}{11}$ ل

ويمكن بالسهولة أيضا ايجاد المقدار العمومى لسهم الانحناء فى النقطة التى بعدها س عن نقطة التثبيت وهذا المقدار يختلف بحسب كون النقطة المذكورة على يمين أو يسار الحمل ه ولنبحث عنه على الجزء س حـ

(شكل ٤)

(شكل ٤) مع ملاحظة ان الحمل ده واقع فى وسط العتب ولعزم حينئذ بالرمزين ب ، ج لسعتى العزم على الطول س فيحدث

$$\text{ب} = \frac{1}{2}\left[\text{رَ}\,\text{ل} + \text{ر}\,(\text{ل} - \text{س})\right]\text{س} = \frac{5}{32}\,\text{ده}\,\text{س}\,(2\text{ل} - \text{س})$$

$$\text{بَ} = \frac{\text{س}}{3} \times \frac{2\text{رَ}\,\text{ل} + \text{ر}\,(\text{ل} - \text{س})}{\text{رَ}\,\text{ل} + \text{ر}\,(\text{ل} - \text{س})}$$ ومنها يحدث

$$\text{ب}\,\text{بَ} = \frac{1}{6}\,\text{ر}\,\text{س}^2\,(3\text{ل} - \text{س}) = \frac{5}{96}\,\text{ده}\,\text{س}^2\,(3\text{ل} - \text{س})$$ وكذا

$$\text{ج} = \frac{1}{2}\,\frac{\text{ده}\,\text{ل}}{2} \times \frac{\text{ل}}{2} = \frac{1}{8}\,\text{ده}\,\text{ل}^2$$

$$\text{جَ} = \text{س} - \frac{1}{3}\,\frac{\text{ل}}{2} = \text{س} - \frac{\text{ل}}{6}$$ ومنها يحدث

$$\text{ج}\,\text{جَ} = \frac{1}{48}\,\text{ده}\,\text{ل}^2\,(6\text{س} - \text{ل})$$

واذا وضع مقدارا ب بَ ، ج جَ فى قانون

$$\text{ف} = \text{م}\,(\text{ج}\,\text{جَ} - \text{ب}\,\text{بَ})$$

فانه فى نقطة تأثير الحمل اعنى بالنسبة الى $\text{س} = \frac{\text{ل}}{2}$ يكون

$$\text{ف} = \frac{7}{768}\,\text{م}\,\text{ده}\,\text{ل}^3$$

ولتعيين النقطة التى يكون فيها سهم الانحناء نهاية عظمى بين نقطتى ا ، ح يقال حيث انه فى هذه النقطة يكون المماس للمنحنى المرن افقيا فيكون فى تلك النقطة ى = . وعليه يكون ب = ج اعنى يكون

$$\frac{5}{32}\,\text{س}\,(2\text{ل} - \text{س}) = \frac{1}{8}\,\text{ل}^2$$ ومنها يحدث

$$\text{س} = \left(1 - \frac{1}{5}\sqrt{5}\right)\text{ل}$$

واذا وضع عوضا عن س مقدارها فى معادلة

$$\text{ف} = \text{م}\,(\text{ج}\,\text{جَ} - \text{ب}\,\text{بَ})$$ يحدث

$$\text{ف} = \frac{1}{240}\sqrt{5} \times \text{م}\,\text{ده}\,\text{ل}^3 = 0.01\,\text{م}\,\text{ده}\,\text{ل}^3$$

فى الاعتاب ذات المقاومة الكبيرة

حيث أن العزمين الأعظم ما يمكن يكونان فى نقطتى التثبيت وتأثير الحمل وأنهما دائما مختلفان فى الجهة فيتحصل على أصغر مقادير الفرق بين هذين العزمين بالبحث عن كيفية بها يكونان متساويين ويمكن الوصول الى هذه النتيجة اما بخفض نقطة الارتكاز واما بجعل التثبيت على زاوية معينة وحينئذ فالأعتاب الموضوعة بهذه الكيفية تكون ذات مقاومة كبيرة

لأنه بناء على أن العزمين الأعظم ما يمكن يلزم ان يكونا متساويين فأنه فى حالة ما يكون الحمل واقعا فى الوسط يحدث

$$\text{رَ}\,\text{ل} - \frac{1}{2}\,\text{ده}\,\text{ل} = -\frac{1}{2}\,\text{رَ}\,\text{ل}$$ ومنها يحدث

$$\text{رَ} = \frac{1}{3}\,\text{ده}$$

وبوضع هذا المقدار فى المعادلة الأولى العمومية للسهم يحدث

$$ف = \frac{1}{144} م ه ل^3$$

وهو مقدار فرق تسوية نقطة ا عن ب في حالة المثبت الافقي والنسبة الكائنة بين هذا السهم والسهم الاعظم السابق ايجاده هي ١٦٦٧ر١ : ٥٧ أو ٠ر٧٥٠

وفي حالة المثبت المائل النسبة $\frac{ف}{ل}$ يتعين بها ظل الميل في نقطة المثبت

وأما من جهة العزم الأعظم ما يكن فان مقداره بناء على معادلة $ع = ه (ل - س) - ر (ل - س)$ هو

$$ع = \frac{1}{6} ه ل$$

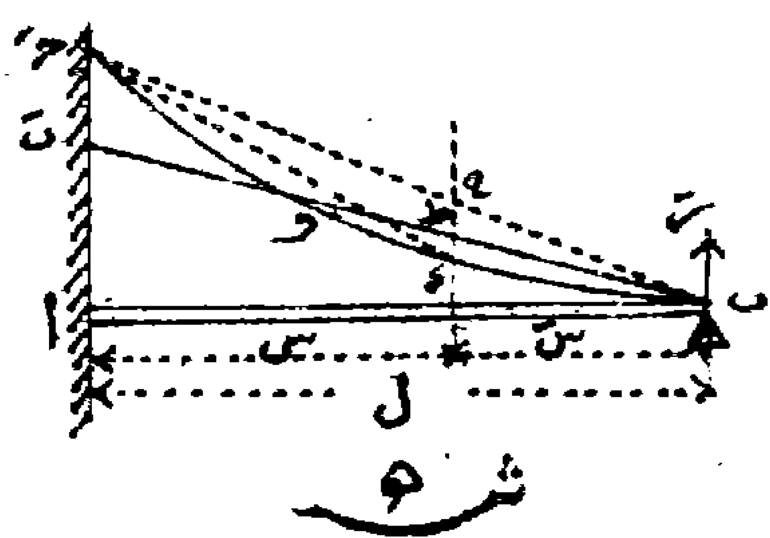
الحالة التي يكون فيها الحمل موزعاً بانتظام

اذا فرض أن العتب مثبت افقيا في ا ومرتكز على نقطة ارتكاز ب موجودة في استواء نقطة المثبت ومحمل بثقل موزع بانتظام قدره ق كيلوجرام بالنسبة للوحدة الطولية وأن ر هي رد فعل نقطة الارتكاز فنرسم الخطوط البيانية للعزم في جهة واحدة من المحور وحينئذ يكون الخط البياني لعزم رد الفعل هو مستقيم ب ت والخط البياني لعزم الحمل الموزع بانتظام هو منحنى ب ى ح والفرق ا ح - ا ت يكون هو العزم ع للمثبت الذي يلزم تعيينه قبل كل شيء ولذلك يقال حيث أن المنحنى ب و ح بدل بالنسبة للمستقيم ب ح على الخط البياني لعزم العتب الموضوع على نقطتي ارتكاز ا ، ب فاذا رمز بالرمز ا لسعة عزم الخط البياني المذكور وبالرمز اً لبعد مركز ثقلها عن نقطة الارتكاز ب ورمز كذلك بالرمزين ب ، بً لسعة العزم ولبعد مركز الثقل بالنسبة للخط البياني ب ت ح وفرض أيضا أن ر غير معين فالسهم في نقطة ب يكون معيناً من القانون

$$ف = م (ا اً - ب بً)$$

وحيث ان هذا السهم يجب أن يكون معدوما بسبب ان نقطة ب موجودة في استواء نقطة المثبت ا فيكون

$$ا اً = ب بً$$



ولكن من المعلوم أن

$$ا = \frac{2}{3} ل \times \frac{1}{8} ق ل^2 = \frac{1}{12} ق ل^3$$

$$ب = \frac{1}{2} ع ل$$

$$اً = \frac{1}{2} ل$$

$$بً = \frac{2}{3} ل$$

وحينئذ اذا وضعت هذه المقادير عوضا عن الرموز في المعادلة السابقة يحدث

$ع = \frac{1}{8} ق ل^2$ وحيث ان $ع = \frac{1}{2} ق ل^2 - ر ل$ فيكون

$$ر = \frac{3}{8} ق ل$$

وعلى العموم فالعزم عً لنقطة موجودة على بعد سً من نقطة ب يتعين من القانون الآتي

عً =

$$ع = \frac{١}{٢} ق س^{٢} - ر س = \frac{١}{٢} ق س \left(س - \frac{٣}{٤} ل \right)$$

ومنه ينتج اولا حيث أن العزم فى نقطة الانقلاب معدوما فيكون

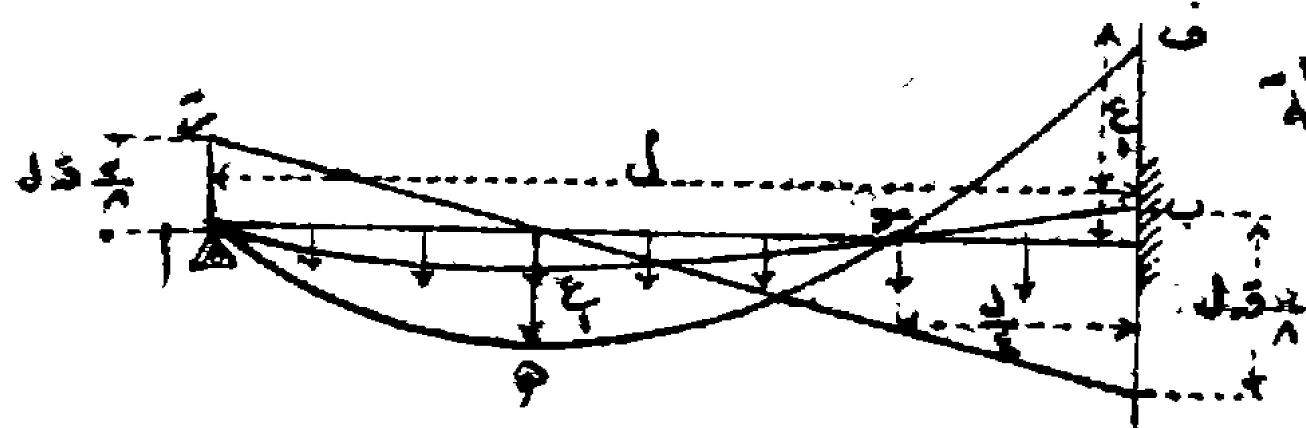
$ع = ٠$ وعليه يكون $س = \frac{٣}{٤} ل$ ومن هذه المعادلة تتعين نقطة الانقلاب

وثانيا حيث ان العزم الأعظم يكون فى النقطة التى بعدها عن نقطة الارتكاز معينا من المعادلة

$$س = \frac{٣}{٤} ل - س \quad \text{التى منها} \quad س = \frac{٣}{٨} ل$$

فيكون

$$ع = - \frac{٩}{١٢٨} ق ل^{٢}$$



وعلى هذا فيمكن رسم الخطين البيانيين لعزم الانحناء والأحمال القاطعة كما هو مشاهد من الشكل مع ملاحظة أن معادلة الحمل القاطع هى

$$ح = ق س - ر = ق س - \frac{٣}{٨} ق ل$$

وأخيرا فأن المقدار العمومى للسهم يتعين من المعادلة الآتية وهى

$$ف = م \left(ب ت - ا أ \right)$$

التى فيها ب ، ا رمزان لسطحى العزم على القطعة س ، ت ، أ رمزان لذراعى رافعتهما بالنسبة للقطاع المفروض (شكل ٥) ولنعين مثلا النقطة س التى يكون فيها السهم نهاية عظمى أعنى يكون فيها ى = ٠ أو ا = ب فنقول

نفرض أن ع ، ع هما العزمان فى نقطة س المنسوبين للخطين البيانيين للشكل ٥ بالنسبة للمستقيم سد أى أن ط = ع ، د ى = ع وحينئذ يحدث

$$\frac{ع}{ع} = \frac{س}{ل} \quad ، \quad ع = \frac{١}{٢} ق س س$$

وبناء على المعادلة الأولى يكون

$$ب = \frac{ع + ع}{٢} س = \frac{١}{١٦} ق ل \left(ل + س \right) س$$

وحيث أن ا = ح ى ح + ح ى د كما هو واضح من الشكل يكون

$$ا = \frac{٢}{٣} س \times \frac{١}{٨} ق س^{٢} + \frac{١}{٢} ع س = \frac{١}{١٢} ق س^{٢} \left(س + ٣ س \right)$$

وبناء على أن ا = ب يحدث

$$س = \frac{١}{١٦} ل \left(١ + \sqrt{٣٣} \right) = ٠،٤٢ ل$$

وأما من جهة السهم الأعظم فمقداره بالتقريب هو

$$ف = \frac{١}{١٨٤} م ق ل^{٤}$$

ويمكن ان يقال بصفة عمومية أنه فى حالة ما يكون الحمل موزعا بانتظام تكون مقاومة العتب المثبت من احدى نهايتيه على مقاومته فى حالة عدم التثبيت وانما صلابة العتب فى الحالة الأولى تكون مساوية لصلابة العتب فى الحالة الثانية بقدر مرتين ونصف تقريبا كما يتضح ذلك من مقارنة مقدار سهمى الانحناء

فى الأعتاب ذات المقاومة الكبيرة

اذا فرض ان ر غير معين فمقدار العزم $\text{ع}'$ يكون

$$\text{ع}' = \frac{\text{ق}\,\text{س}'^2}{2} - \text{ر}\,\text{س}' = \frac{\text{ق}\,\text{س}'}{2}\left(\text{س}' - \frac{2\text{ر}}{\text{ق}}\right)$$

وهذا العزم يكون نهاية عظمى متى كان

$$\text{س}' = \frac{2\text{ر}}{\text{ق}} - \text{س}' \quad \text{التى منها} \quad \text{س}' = \frac{\text{ر}}{\text{ق}}$$

وحينئذ يكون $\quad \text{ع}' = -\frac{1}{2} \times \frac{\text{ر}^2}{\text{ق}}$

ويجعل المقدار المطلق لهذا العزم مساويا لعزم المثبت وهو

$\text{ع} = \frac{\text{ق}\,\text{ل}^2}{2} - \text{ر}\,\text{ل}$ يكون

$\text{ر} = (\sqrt{2} - 1)\,\text{ق}\,\text{ل}$ وعليه يكون

$$\text{ع} = \text{ع}' = \frac{1}{2}\,\text{ق}\,\text{ل}^2\,(3 - 2\sqrt{2}) = 0.086\,\text{ق}\,\text{ل}^2$$

$$\text{ف} = \frac{1}{24}\,\text{م}\,\text{ق}\,\text{ل}^4\,(8\sqrt{2} - 11) = 0.013\,\text{م}\,\text{ق}\,\text{ل}^4$$

فى الأعتاب المثبتة من طرفيها

الحالة التى يكون فيها الحمل وحيدا

اذا فرض أن اب منشور مثبت من نهايتيه ومحمل بحمل ح فى نقط متباعدة عن نقطتى التثبيت ببعدى $\text{ل}'$، $\text{ل}''$ فيرى من بادئ الأمر بأن العزمين $\text{٢٢}' = \text{ع}$ ، $\text{ب}\,\text{ب}' = \text{ع}'$ بالنسبة لنقطتى المثبت يكونان متحدى الاشارة وأن أى عزم حيثما اتفق يمكن اعتباره أنه ناتج من الفرق بين العزمين المقابلين للخطين البيانيين $\text{٢ب}'$ ، $\text{٢ح ب}'$ المعينين بعزمى التثبيت وبعزم الحمل ح الواقع على المنشور غير المثبت على التناظر

ثم نفرض أن ٢ ، ب هما سعتا العزم للخطين البيانيين المذكورين

وأن $\text{٢}'$ ، $\text{ب}'$ هما ذراعا رافعتيهما بالنسبة لنقطة ٢

وحيث أن نقطتى التثبيت فى استواء واحد فرضا يكون

$\text{٢٢}' = \text{ب}\,\text{ب}'$ ويحدث

$$\text{٢} = \frac{\text{ح}\,\text{ل}'\,\text{ل}''}{\text{ل}} \times \frac{\text{ل}}{2} = \frac{\text{ح}\,\text{ل}'\,\text{ل}''}{2}$$

$$\text{ب} = \frac{\text{ع} + \text{ع}'}{2} \times \text{ل}$$

$$\text{٢}' = \frac{1}{3}\,(\text{ل} + \text{ل}')$$

$$\text{ب}' = \frac{\text{ل}}{3} \times \frac{\text{ع} + 2\text{ع}'}{\text{ع} + \text{ع}'}$$

وبالوضع يحدث

$$\text{ع} + 2\text{ع}' = \frac{\text{ل}'\,\text{ل}''\,(\text{ل} + \text{ل}')}{\text{ل}^2}\,\text{ح}$$

وبالمثل يحدث

$$2\text{ع} + \text{ع}' = \frac{\text{ل}'\,\text{ل}''\,(\text{ل} + \text{ل}'')}{\text{ل}^2}\,\text{ح}$$

ثم بطابق

ومن هاتين المعادلتين يحدث

$$\text{ع} = \frac{\text{لَ لً}^2}{\text{ل}^2}\,\text{ه} \ ، \ \text{عَ} = \frac{\text{لَ}^2\,\text{لً}}{\text{ل}^2}\,\text{ه}$$

وأما من جهة العزم حدَ = عِ فان مقداره يوجد بالسهولة وهو

$$\text{عِ} = 2\,\frac{\text{لَ}^2\,\text{لً}^2}{\text{ل}^3}\,\text{ه}$$

وحيث أن احد العزمين المتطرفين ع مثلا يتعلق بالحاصل لَ لً² أو بالحاصل لَ (ل - لَ)² فنهايته العظمى تحصل متى كان

$$\text{لَ} = \tfrac{1}{2}(\text{ل} - \text{لَ}) \ \text{أو}\ \text{لَ} = \tfrac{1}{3}\,\text{ل}$$

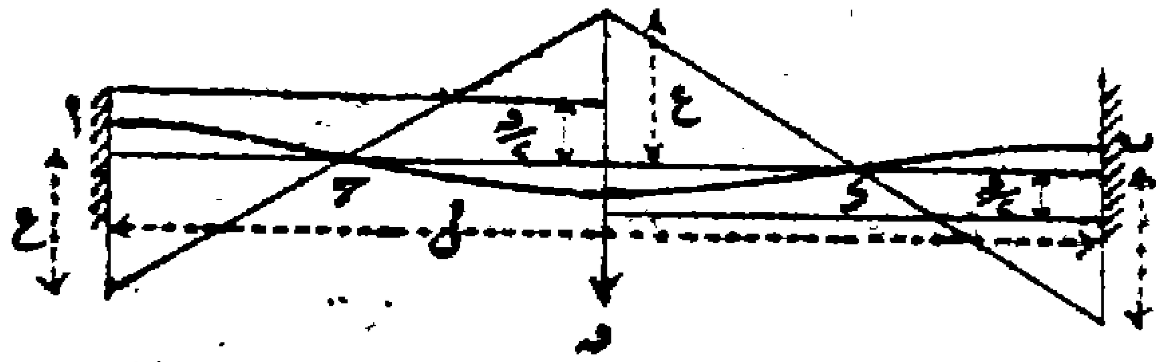
وحينئذ اذا وضع في مقادير ع ، عَ ، عِ عوضا عن لَ مقدارها وهو $\tfrac{1}{3}$ ل فتكون مقادير الثلاثة عزم العظمى من بعد ملاحظة أن لً = ل - لَ هي $\text{ع} = \tfrac{4}{27}\,\text{ه ل}$ ، $\text{عَ} = \tfrac{2}{27}\,\text{ه ل}$ ، $\text{عِ} = \tfrac{8}{81}\,\text{ه ل}$

ومن حيث أن العزم عِ يكون نهاية عظمى متى كان لَ = لً فتكون مقادير العزم الثلاثة المذكورة هي

$$\text{ع} = \text{عَ} = \tfrac{1}{8}\,\text{ه ل} \ ، \ \text{عِ} = \tfrac{1}{8}\,\text{ه ل}$$

أعني أن الثلاثة عزم تكون متساوية

وحيث ان العزم ع يكون أكبر العزم متى كان $\text{لَ} = \frac{\text{ل}}{3}$ كما تقدم فيعلم من ذلك أن التأثير الأعظم الذي يكابده العتب المثبت افقيا والمتحرك عليه حمل يحصل حينما يكون الحمل المذكور واقعا في ثلث طول ذلك العتب بالابتداء من احدى نقطتي التثبيت



ومتى كان الحمل واقعا في وسط العتب فان نقطة الانقلاب تكون موجودة على ربع طول العتب المذكور حيث أن الثلاثة عزم العظمى في هذه الحالة متساوية

وحيث أنه بارتفاع احدى نقطتي التثبيت عن الأخرى يحدث ازدياد مقدار احدى العزم العظمى الثلاثة فيفهم من ذلك أنه في الحالة التي يكون فيها الحمل واقعا في الوسط يكون العتب المثبت افقيا ذا مقاومة كبيرة وفي الحالة التي يكون فيها الحمل واقعا في الوسط يمكن بالسهولة ايجاد مقدار سهم الانحناء الاعظم وحينئذ يكون

$$\text{ف} = \tfrac{1}{192}\,\text{م ه ل}^3 = \frac{\text{ه ل}^3}{192\,\text{و ع}}$$

وبالاختصار فانه بالمقارنة بين مقاومة وصلابة عتب مثبت من الطرفين والحمل واقع في وسطه وبين المقاومة والصلابة المنسوبتين للعتب عينه الموضوع على نقطتي ارتكاز على الناظر يرى أن المقاومة في الحالة الأولى ضعف المقاومة في الحالة الثانية وأن الصلابة في الحالة الأولى أربعة امثالها في الحالة الثانية

الحالة التي يكون فيها الحمل موزعا بانتظام على طول العتب

حيث أن العتب مثبت افقيا من الطرفين فالعزمان المتطرفان ع يكونان في هذه الحالة متساويين

وحيث أن الخط البيانى للعزم المنسوبة للحمل الموزع بانتظام على عتب غير مثبت هو قطع مكافئ احداثيه الرأسى الاعظم مقداره $\frac{ق ل^٢}{٨}$

فاذا رمزنا بالرمزين ا ا ب لسعتى العزم المحدودتين كما فى الحالة السابقة فأن ميل المماس لمقطعى التثبيت يكون معدوما ويحدث

$$ا ا َ = ب بَ \quad أو \quad ا = ب \quad \text{حيث أنه فى هذه الحالة } ٤ = ٤َ \quad \text{ولكن}$$

$$ا = \frac{١}{٨} ق ل^٢ \times \frac{٢}{٣} ل \quad)$$

$$ب = ع ل$$

ومنها يحدث $\quad ع = \frac{١}{١٢} ق ل^٢$

وبالنسبة للعزم الآخر الذى مقداره نهاية عظمى فى الوسط يكون

$$عَ = \frac{١}{٨} ق ل^٢ - ع = \frac{١}{٢٤} ق ل^٢$$

ولتعيين نقطة الانقلاب يقال حيث ان مقدار العزم عَ فى نقطة متباعدة عن مقطعى التثبيت بالبعدين لَ ، لً هو

$$عَ = \frac{١}{٢} ق لَ لً - ع$$

وأن هذا العزم يكون معدوما اذا كان

$$\frac{١}{٢} ق لَ لً = ع = \frac{١}{١٢} ق ل^٢ \quad \text{فيكون}$$

$$لَ (ل - لَ) = \frac{١}{٦} ل^٢ \quad \text{ومنها يحدث}$$

$$لَ = \frac{١}{٦} ل (٣ - \sqrt{٣}) = ٠,٢١ ل$$

أعنى ان نقطة الانقلاب تكون فى الخمس تقريبا من طول العتب بالابتداء من مقطعى التثبيت

وأما من جهة السهم الأعظم الذى يكون فى وسط العتب فأنه اذا رمز بالرمزين ا ، ب لمنصف كل من السعتين المذكورتين وبالرمزين ٤َ ، تَ لذراعى رافعتهما بالنسبة لنقطة الوسط فأن مقداره يكون

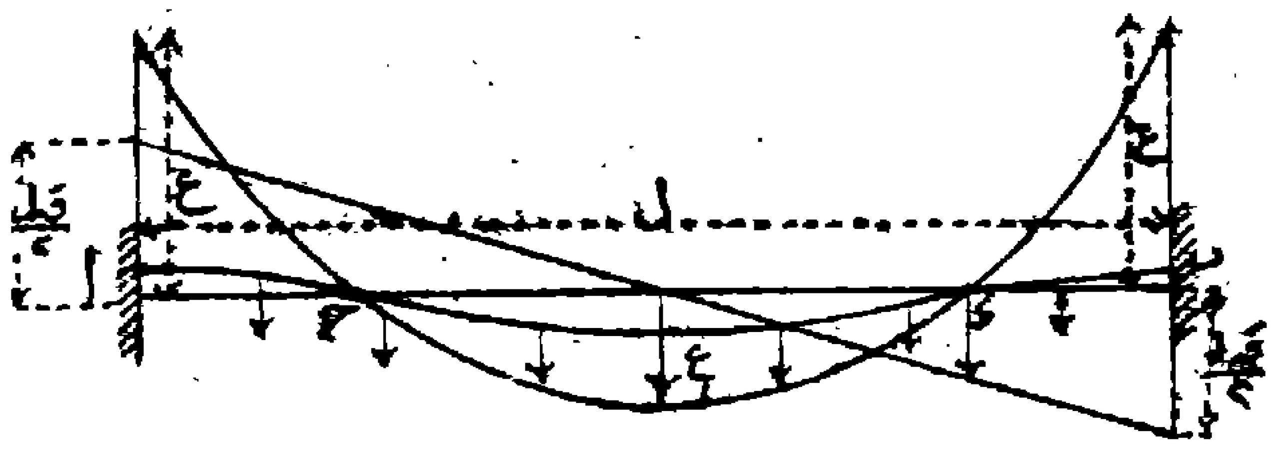
$$ف = م (ب تَ - ا ٤َ)$$

$$\text{ولكن} \quad ب = \frac{١}{٢٤} ق ل^٣ \quad) \quad ا = \frac{١}{٢٤} ق ل^٣$$

$$تَ = \frac{١}{٤} ل \quad) \quad ٤َ = \frac{٣}{١٦} ل$$

وبالوضع فى معادلة السهم يحدث

$$ف = \frac{١}{٣٨٤} م ق ل^٤ = \frac{ق ل^٤}{٣٨٤ و ح} = \frac{ق}{و ح} \times \frac{١}{٢٤} (\frac{ل}{٢})^٤$$



الحالة التى يكون فيها العتب ذا مقاومة كبيرة

فى الحالة السابقة يمكن ازدياد مقاومة العتب باعطاء اتجاهى قطاعى التثبيت ميلا مناسبا ويحصل على هذه النتيجة مثلا بمد العتب خارجا عن التثبت والتوقيع على كل من هذين الامتدادين نفس الحمل الموزع بانتظام

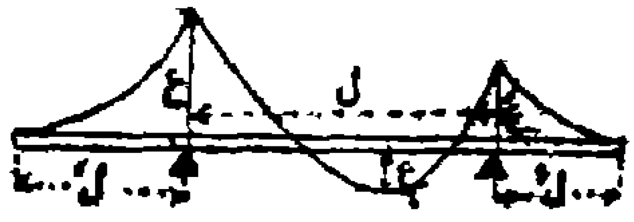
بالنسبة

بالنسبة للوحدة الطوليـــة

وهذا يرجع الى اعتبار أن العتب موضوع على نقطتى ارتكاز ليستا موجودتين فى نهايتيه ولكن فى مثل هذا العتب نقطتا الارتكاز متباعدتان عن بعضهما بالبعد ل ومتباعدتان عن نهايتيه بالبعدين لَ ، لً على التناظر

ففى هذه الحالة العزمان فى نقطتى الارتكاز يتعينان تعيينا تاما بالاحمال الواقعة على الطرفين المطلقين

ومقدارهما على التناظر هما ع = ½ قَ لَ² ، عَ = ½ قَ لً²



ومنها يسهل تعيين جميع باقى أجزاء الانثناء

ولنعتبر الحالة الأبسط ما يكون التى فيها التثبيت متحدا أى ان فيها يكون لَ = لً

وفى هذه الحالة يكون مقادير العزم العظمى والاحمال فى نقطتى الارتكاز كالآتى

ع = عَ = ½ قَ لَ²

ع = ⅛ قَ ل² - ع = ½ قَ (¼ ل² - لَ²) و

ومقدار رد الفعل ر لكل من نقطتى الارتكاز يكون

ر = ½ قَ (ل + ٢ لَ)

وحيث أن العزم العظمى تختلف عن بعضها فى الجهة فالعتب ذو المقاومة الكبيرة يكون معينا بالمعادلة

ع = ع وعليه يكون

٢ع = ⅛ قَ ل² = قَ لَ² ومنها يحدث

لَ = ¼ ل √٢ = ٣٥٣ ر ل

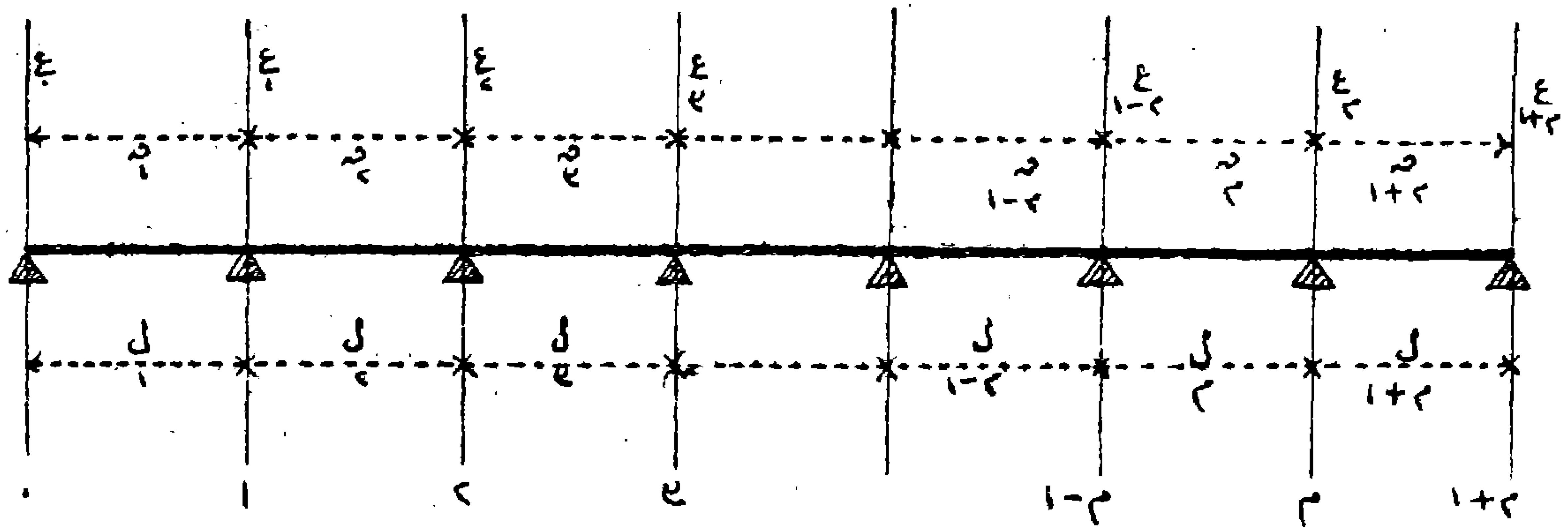
وهذا يقابل الجزئين مطلقتين كل منهما يساوى ٤ ر تقريبا الطول الكلى وعزم الانثناء فى هذه الحالة يكون

ع = ½ قَ لَ² = ١/١٦ قَ ل²

فى نظرية الثلاثة عزم وما يتعلق بها

نظرية الثلاثة عزم ارتباط شهير جدا ترتبط به عزم ثلاثة نقط ارتكاز متتابعة لعتب مرتكز على جملة نقط ارتكاز موجودة فى مستو افقى واحد مع بعضها

ولبيان هذه النظرية نفرض عتبا مرتكزا على جملة نقط ارتكاز موجودة فى استواء واحد مثل ا ، ب ، حـ ، ء ،.... ونرمز بالرموز ل ، ل ، ل ،..... لأطوال الفتحات المتتالية الواقعة بين نقط الارتكاز المتتابعة على التناظر وبالرموز قه ، قه ، قه ،..... للأحمال الواقعة بانتظام بالنسبة للمتر الطولى من الفتحات المذكورة على التناظر ايضا أعنى أن قه رمز للحمل الواقع بانتظام على المتر الطولى من الفتحة التى طولها ل ، قه رمز للحمل الواقع بانتظام على المتر الطولى من الفتحة التى طولها ل وهكذا ثم نرمز بالرموز ع ، ع ، ع ،..... لعزم الانثناء فى نقط الارتكاز المتتالية ما لابتداء من نقطة الارتكاز التى نمرتها صفر وحينئذ بناء على ما قرره المهندسان برتو وكلابيرون يكون



$$\text{ع}_{0}\,\text{ل}_{1} + 2(\text{ل}_{1}+\text{ل}_{2})\,\text{ع}_{1} + \text{ل}_{2}\,\text{ع}_{2} = -\tfrac{1}{4}(\text{ق}_{1}\,\text{ل}_{1}^{3} + \text{ق}_{2}\,\text{ل}_{2}^{3})\ ،$$
$$\text{ع}_{1}\,\text{ل}_{2} + 2(\text{ل}_{2}+\text{ل}_{3})\,\text{ع}_{2} + \text{ل}_{3}\,\text{ع}_{3} = -\tfrac{1}{4}(\text{ق}_{2}\,\text{ل}_{2}^{3} + \text{ق}_{3}\,\text{ل}_{3}^{3})\ ،$$
$$\text{ع}_{2}\,\text{ل}_{3} + 2(\text{ل}_{3}+\text{ل}_{4})\,\text{ع}_{3} + \text{ل}_{4}\,\text{ع}_{4} = -\tfrac{1}{4}(\text{ق}_{3}\,\text{ل}_{3}^{3} + \text{ق}_{4}\,\text{ل}_{4}^{3})\ ،$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\ ،$$
$$\text{ع}_{\text{م}-2}\,\text{ل}_{\text{م}-1} + 2(\text{ل}_{\text{م}-1}+\text{ل}_{\text{م}})\,\text{ع}_{\text{م}-1} + \text{ل}_{\text{م}}\,\text{ع}_{\text{م}} = -\tfrac{1}{4}(\text{ق}_{\text{م}-1}\,\text{ل}_{\text{م}-1}^{3} + \text{ق}_{\text{م}}\,\text{ل}_{\text{م}}^{3})\ ،$$
$$\text{ع}_{\text{م}-1}\,\text{ل}_{\text{م}} + 2(\text{ل}_{\text{م}}+\text{ل}_{\text{م}+1})\,\text{ع}_{\text{م}} + \text{ل}_{\text{م}+1}\,\text{ع}_{\text{م}+1} = -\tfrac{1}{4}(\text{ق}_{\text{م}}\,\text{ل}_{\text{م}}^{3} + \text{ق}_{\text{م}+1}\,\text{ل}_{\text{م}+1}^{3})$$

مع ملاحظة أن عزمى الانثناء ع_{0} ، $\text{ع}_{\text{م}+1}$ فى نقطتى الارتكاز المتطرفتين معدومان أعنى ان الحد $\text{ع}_{0}\,\text{ل}_{1}$ من المعادلة الاولى يكون مساويا للصفر وان الحد $\text{ل}_{\text{م}+1}\,\text{ع}_{\text{م}+1}$ من المعادلة الأخيرة يكون مساويا للصفر أيضا وعلى هذا فيكون دائما عدد المعادلات المتحصلة المشتملة على عزم الانثناء فى نقط الارتكاز المحصورة بين نقطتى الارتكاز المتطرفتين مساويا لعدد فتحات الكتب ناقصا واحدا أعنى اذا كان عدد الفتحات خمسة مثلا نتحصل اربعة معادلات فيها $\text{ع}_{0} = 0$ ، $\text{ع}_{5} = 0$. وتكون عزم الانثناء المجهولة المطلوب تعيينها هى ع_{1} ، ع_{2} ، ع_{3} ، ع_{4} فقط أى أن عدد عزم الانثناء المجهولة يكون مساويا دائما لعدد الفتحات ناقصا واحدا أيضا

وحينئذ حينما يكون عدد الفتحات حينما اتفق نتبع الطريقة العمومية التى تسمى بطريقة المعاملات الغير معينة لاستخراج مقادير عزم الانثناء المجهولة وهذه الطريقة هى

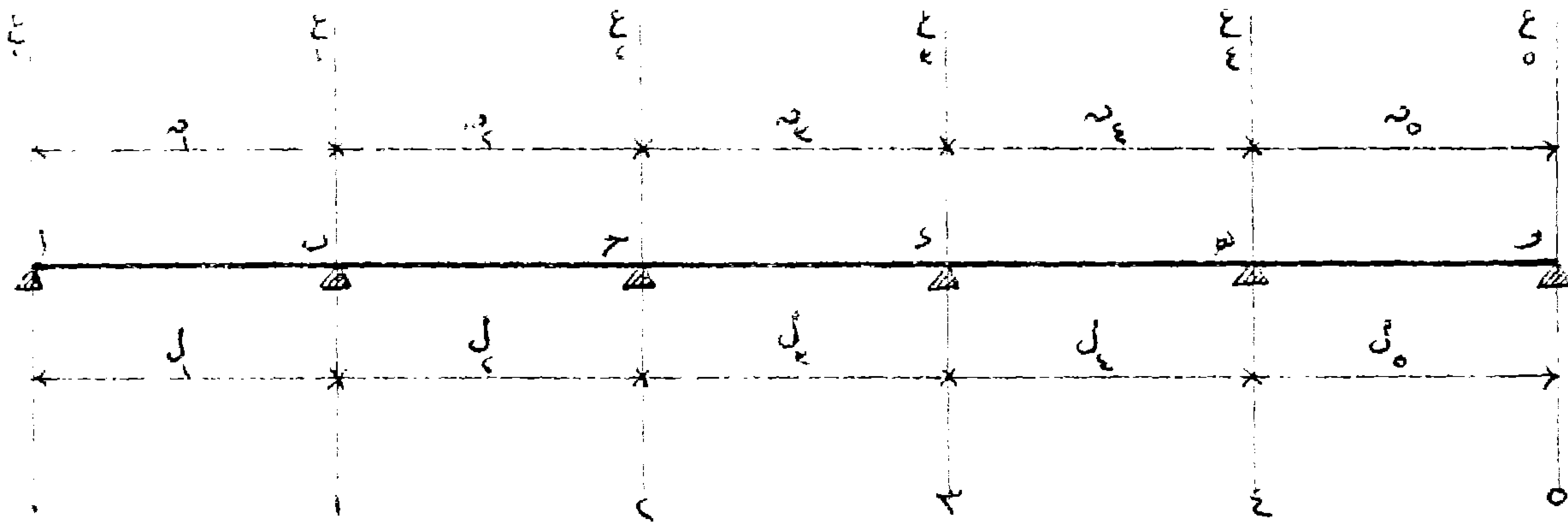
أن تضرب المعادلة الاولى من معادلات العزم الثلاثة فى واحد وباقى المعادلات فى معاملات غير معينة مثل ى ، ىَ ، ىً ، ..... على التوالى ثم تجمع تلك المعادلات الى بعضها طرفا بطرف وترتب المعادلة المتحصلة من الجمع بالنسبة للعزم المجهولة وبعد ذلك يساوى كل من جميع معاملات العزم المذكورة بصفر ما عدا معامل العزم الأخير $\text{ع}_{\text{م}}$ فيتحصل حينئذ على معادلات مشتملة على مجاهيل ى ، ىَ ، ىً ، .... عددها عين عدد المعاملات الأصلية ناقصا واحدا فيجرى حلها بالسهولة واستخراج مقادير المجاهيل المذكورة ثم توضع مقادير تلك المجاهيل فى المعادلة المرتبة السابقة الذكر فيتحصل على مقدار العزم $\text{ع}_{\text{م}}$ ومتى علم $\text{ع}_{\text{م}}$ فيوضع مقداره فى المعادلة الأخيرة من معادلات العزم المشتملة على عزمى $\text{ع}_{\text{م}}$ ، $\text{ع}_{\text{م}-1}$ فقط ويستخرج مقدار $\text{ع}_{\text{م}-1}$ وبعد ذلك يوضع مقدارا $\text{ع}_{\text{م}}$ ، $\text{ع}_{\text{م}-1}$ فى المعادلة التى قبل الأخيرة من معادلات العزم المشتملة على ثلاثة عزم وهى $\text{ع}_{\text{م}-2}$ ، $\text{ع}_{\text{م}-1}$ ، $\text{ع}_{\text{م}}$

ويستخرج

ويستخرج مقدار ع_2 وهكذا حتى يستخرج العزم المجهول الأول ع_1

ولايضاح ذلك نفرض عتبا ذات خمسة فتحات وحينئذ بناء على ما تقدم تحدث الأربع معادلات الآتية

$$\left.\begin{aligned} &2(\text{ل}_1+\text{ل}_2)\text{ع}_1+\text{ل}_2\text{ع}_2=-\tfrac{1}{4}(\text{ق}_1\text{ل}_1^3+\text{ق}_2\text{ل}_2^3)=-\text{ك}_1 \\ &\text{ع}_1\text{ل}_2+2(\text{ل}_2+\text{ل}_3)\text{ع}_2+\text{ل}_3\text{ع}_3=-\tfrac{1}{4}(\text{ق}_2\text{ل}_2^3+\text{ق}_3\text{ل}_3^3)=-\text{ك}_2 \\ &\text{ع}_2\text{ل}_3+2(\text{ل}_3+\text{ل}_4)\text{ع}_3+\text{ل}_4\text{ع}_4=-\tfrac{1}{4}(\text{ق}_3\text{ل}_3^3+\text{ق}_4\text{ل}_4^3)=-\text{ك}_3 \\ &\text{ع}_3\text{ل}_4+2(\text{ل}_4+\text{ل}_5)\text{ع}_4=-\tfrac{1}{4}(\text{ق}_4\text{ل}_4^3+\text{ق}_5\text{ل}_5^3)=-\text{ك}_4 \end{aligned}\right\}\ldots\ldots(1)$$



بالرمز للأطراف الثانية من المعادلات المذكورة بالرموز ك_1 ، ك_2 ، ك_3 ، ك_4 على التناظر لأجل السهولة ثم نضرب حدود المعادلة الأولى من هذه المعادلات في واحد وحدود المعادلات الثانية في ى والثالثة في ىَ والرابعة في ىً فيحدث

$$\begin{aligned} &2(\text{ل}_1+\text{ل}_2)\text{ع}_1+\text{ل}_2\text{ع}_2=-\text{ك}_1 \\ &\text{ع}_1\text{ل}_2\text{ى}+2(\text{ل}_2+\text{ل}_3)\text{ع}_2\text{ى}+\text{ل}_3\text{ع}_3\text{ى}=-\text{ك}_2\text{ى} \\ &\text{ع}_2\text{ل}_3\text{ىَ}+2(\text{ل}_3+\text{ل}_4)\text{ع}_3\text{ىَ}+\text{ل}_4\text{ع}_4\text{ىَ}=-\text{ك}_3\text{ىَ} \\ &\text{ع}_3\text{ل}_4\text{ىً}+2(\text{ل}_4+\text{ل}_5)\text{ع}_4\text{ىً}=-\text{ك}_4\text{ىً} \end{aligned}$$

وبجمع هذه المعادلات الى بعضها طرفا بطرف وترتيب المعادلة المتحصلة بالنسبة للعزم يحدث

$$\text{ع}_1[2(\text{ل}_1+\text{ل}_2)+\text{ل}_2\text{ى}]+\text{ع}_2[\text{ل}_2+2(\text{ل}_2+\text{ل}_3)\text{ى}+\text{ل}_3\text{ىَ}]+\text{ع}_3[\text{ل}_3\text{ى}+2(\text{ل}_3+\text{ل}_4)\text{ىَ}+\text{ل}_4\text{ىً}]+\text{ع}_4[\text{ل}_4\text{ىَ}+2(\text{ل}_4+\text{ل}_5)\text{ىً}]=-\text{ك}_1-\text{ك}_2\text{ى}-\text{ك}_3\text{ىَ}-\text{ك}_4\text{ىً}\ \ldots\ldots\ldots\ (2)$$

وبمساواة كل من معاملات ع_1 ، ع_2 ، ع_3 بصفر يحدث

$$\begin{aligned} &2(\text{ل}_1+\text{ل}_2)+\text{ل}_2\text{ى}=0 \\ &\text{ل}_2+2(\text{ل}_2+\text{ل}_3)\text{ى}+\text{ل}_3\text{ىَ}=0 \\ &\text{ل}_3\text{ى}+2(\text{ل}_3+\text{ل}_4)\text{ىَ}+\text{ل}_4\text{ىً}=0 \end{aligned}$$

ومن هذه المعادلات تستخرج مقادير ي ، يَ ، يً بالسهولة وبعد ذلك توضع تلك المقادير في المعادلة الناتجة من معادلة (٢) بعد مساواة المعاملات بصفر كما ذكر وهي

ع٤ [٢ ل٤ يَ + ٢ (ل٤ + ل٥) يً] = - ل١ - ل٢ ي - ل٣ يَ - ل٤ يً

التي ليس فيها سوى ع٤ مجهولا فيستخرج ومتى علم مقدار ع٤ يوضع في المعادلة الأخيرة من معادلات (١) ويستخرج مقدار ع٣ ثم يوضع مقدارا ع٤ ، ع٣ في المعادلة الثالثة منها ويستخرج مقدار ع٢ ثم يوضع مقدارا ع٣ ، ع٢ في المعادلة الثانية منها ويستخرج مقدار ع١ وحينئذ فتكون المعادلة الأولى من معادلات (١) للتحقيق

(تنبيه) — عوضا عن ضرب المعادلة الأولى من معادلات (١) في واحد وباقي المعادلات في ي ، يَ ، يً على التوالي كما سبق يمكن اجراء ذلك بالابتداء من المعادلة الأخيرة بأن تضرب المعادلة المذكورة في واحد والتي قبلها في ي والتي تلي قبل الأخيرة في يَ وهكذا الى المعادلة الأولى ثم تجمع المعادلات المذكورة طرفا بطرف الى بعضها وترتب المعادلة المتحصلة من الجمع بالنسبة للعزم ثم تساوى كل من جميع المعاملات بصفر ما عدا معامل العزم الأول ع١ وتستخرج مقادير ي ، يَ ، يً ، .... كما تقدم ثم توضع تلك المقادير في المعادلة الناتجة من حاصل الجمع المشابهة لمعادلة (٢) بعد مساواة المعاملات بصفر وهي

ع١ [٢ (ل١ + ل٢) يً + ل٢ يَ] = - ل١ يً - ل٢ يَ - ل٣ ي - ل٤

ويستخرج مقدار ع١ منها

ومتى علم مقدار ع١ يوضع في المعادلة الاولى من معادلات (١) ويستخرج مقدار ع٢ ثم يوضع مقدارا ع١ ، ع٢ في المعادلة الثانية منها ويستخرج مقدار ع٣ ثم يوضع مقدارا ع٢ ، ع٣ في المعادلة الثالثة منها ويستخرج مقدار ع٤ وحينئذ تكون المعادلة الأخيرة منها للتحقيق

المعادلة العمومية الخاصة بعزم الانثناء في أي فتحة

متى تعينت عزم الانثناء في نقط الارتكاز الواقعة بين نقطتي الارتكاز المتطرفتين يمكن تعيين عزم الانثناء في أي نقطة من نقط العتب بالنسبة لأي فتحة من القانون

عس = [عم (لم+١ - س) + عم+١ س] ÷ لم+١ + ½ ومم+١ س (لم+١ - س) ..... (٣)

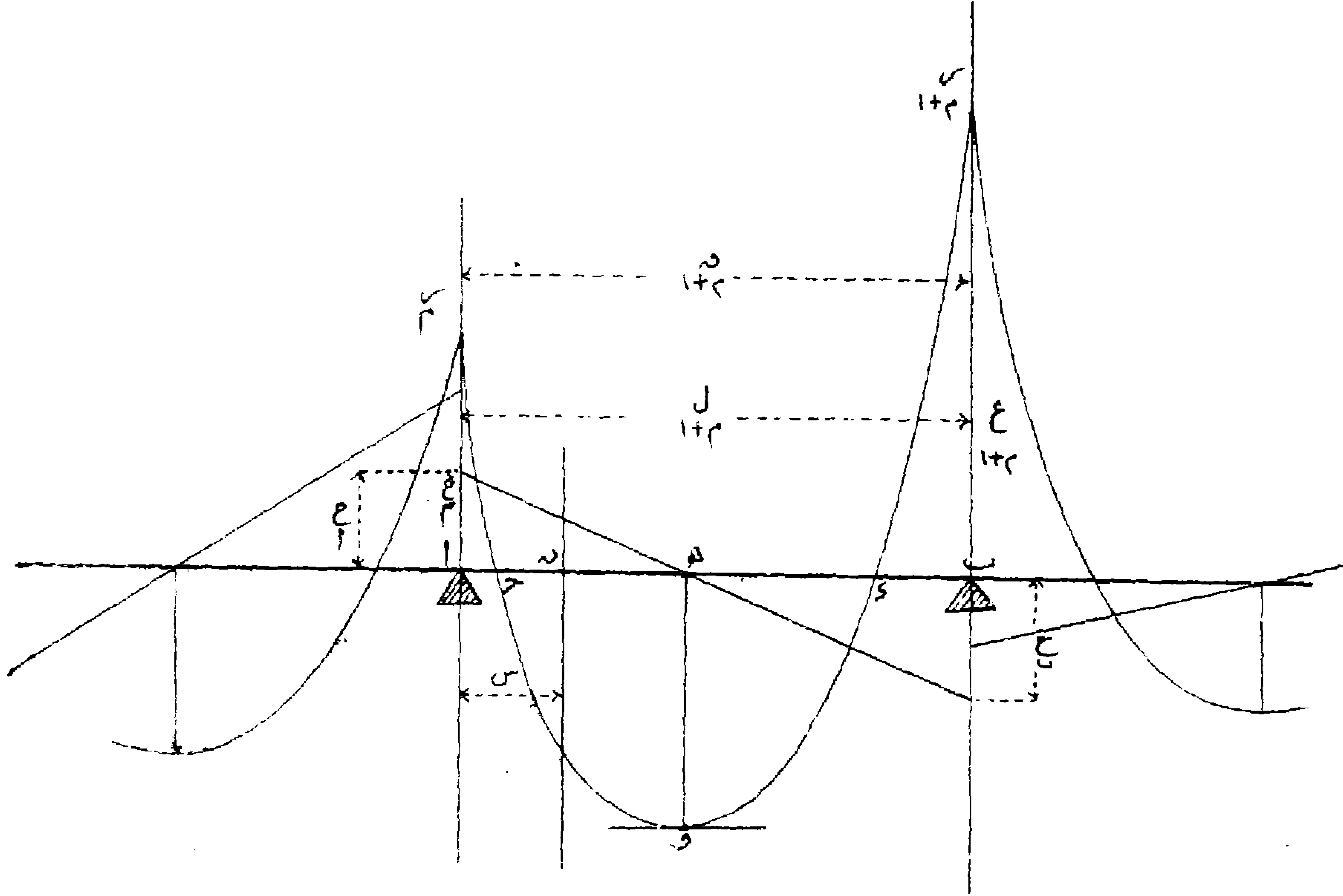
لأنه اذا فرض ان الفتحة المطلوب حساب عزم الانثناء فيها هي اب كما في الشكل وأن طولها هو لم+١ وان عزمي الانثناء في نقطتي الارتكاز ا ، ب هما عم ، عم+١ على التناظر وان ومم+١ هو الحمل الموزع بانتظام على المتر الطولي من الفتحة المذكورة وأن ردي الفعلين أو الحملين القاطعين في نقطتي الارتكاز المذكورتين هما حم ، حم+١ على التناظر أيضا بملاحظة أن رد الفعل حم ناتج من الحمل الواقع على الفتحة اب ومن الحمل الواقع على الفتحة التي قبلها وكذلك رد الفعل حم+١ ناتج من الحمل الواقع على الفتحة اب المذكوره ومن الحمل الواقع على الفتحة التي بعدها

ثم رمزنا بالرمز س لبعد النقطة ه من العتب المطلوب تعيين عزم الانثناء فيها عن نقطة الارتكاز

٢ فأنه

٢ فأنه يحدث

$$\text{ع}_{\text{س}} = \text{ع}_{\text{م}} + \bar{\text{م}}\,\text{س} - \frac{1}{2}\,\text{ق}_{\text{م}+1}\,\text{س}^2$$



ومتى كانت نقطة ه فى موضع نقطة الارتكاز ب أعنى متى كان س = $\text{ل}_{\text{م}+1}$ فأن المعادلة السابقة تؤول الى

$$\text{ع}_{\text{م}+1} = \text{ع}_{\text{م}} + \bar{\text{م}}\,\text{ل}_{\text{م}+1} - \frac{1}{2}\,\text{ق}_{\text{م}+1}\,\text{ل}^2_{\text{م}+1}$$

وبحذف $\bar{\text{م}}$ من المعادلتين المذكورتين تحصل معادلة (٣) وهو المطلوب برهانه

ولأجل تعيين نقطتى الانقلاب ح ، ء يكفى ان يجعل فى معادلة (٣) العزم $\text{ع}_{\text{س}}$ مساويا للصفر ويستخرج منها مقدارا س اللذان بهما تتعين نقطتا ح ، ء المذكورتين ولنفرض ان هذين المقدارين هما $\text{س}'$ ، $\text{س}''$

ولأجل تعيين مقدار العزم ه و الذى فى نهايته يكون المماس للمنحنى البيانى للعزم افقيا يكفى أن يجعل فى معادلة (٣) السابقة $\text{س} = \frac{\text{س}' + \text{س}''}{2}$ أعنى ان يجعل س مساويا للمتوسط العددى لبعدى نقطتى الانقلاب عن نقطة الارتكاز ٢

المعادلة العمومية الخاصة بالاحمال القاطعة فى أى فتحة

لايجاد مقدار الحمل القاطع $\text{ح}_{\text{س}}$ فى أى نقطة من طول العتب بالنسبة للفتحة اب مثلا تؤخذ المشتقة برتبة أولى لمعادلة (٣) بالنسبة للمتغير س فيحدث

$$\text{ح}_{\text{س}} = \frac{\text{ع}_{\text{م}+1} - \text{ع}_{\text{م}}}{\text{ل}_{\text{م}+1}} + \frac{1}{2}\,\text{ق}_{\text{م}+1}\,\text{ل}_{\text{م}+1} - \text{ق}_{\text{م}+1}\,\text{س} \quad \ldots\ldots (٤)$$

وإذا أريد إيجاد مقدار الحمل القاطع فى نقطة الارتكاز ا بالنسبة لفتحة اب يكفى أن يجعل فى المعادلة المذكورة س = ٠ . وحينئذ يكون

$$\text{ح}_{\text{ا}} = \frac{\text{ع}_{\text{م+١}} - \text{ع}_{\text{م}}}{\text{ل}_{\text{م+١}}} + \frac{١}{٢}\,\text{ه}_{\text{م+١}}\,\text{ل}_{\text{م+١}}$$

وإذا أريد إيجاد مقدار الحمل القاطع فى نقطة الارتكاز ب بالنسبة للفتحة اب المذكورة يكفى أن يجعل فى قانون (٤) مقدار $\text{س} = \text{ل}_{\text{م+١}}$ وحينئذ يكون

$$\text{ح}_{\text{ب}} = \frac{\text{ع}_{\text{م+١}} - \text{ع}_{\text{م}}}{\text{ل}_{\text{م+١}}} - \frac{١}{٢}\,\text{ه}_{\text{م+١}}\,\text{ل}_{\text{م+١}}$$

وبهذه المثابة يمكن إيجاد مقادير الأحمال القاطعة فى نقط الارتكاز بالنسبة لكل فتحة من فتحات العتب وبعد ذلك يحصل على المقادير الكلية للاحمال القاطعة بالنسبة لكل نقطة من نقط الارتكاز أى ردود الافعال الكلية لنقط الارتكاز بجمع كل حملين قاطعين منسوبين لكل نقطة ارتكاز واحدة الى بعضهما مثلا اذا كان بالنسبة للفتحة التى قبل فتحة اب الحمل القاطع فى نقطة الارتكاز ا هو حَ وبالنسبة للفتحة التى بعد فتحة اب الحمل القاطع فى نقطة الارتكاز ب هو حَ يكون الحمل القاطع الكلى فى نقطة الارتكاز ا هو ($\text{ح}_{\text{ا}} + \text{حَ}$) والحمل القاطع الكلى فى نقطة الارتكاز ب هو ($\text{ح}_{\text{ب}} + \text{حَ}$) وأما النقطة التى يكون فيها الحمل القاطع معدوما فتتعين من معادلة (٤) بجعل $\text{ح}_{\text{س}} = ٠$. واستخراج مقدار س المحقق لذلك ولا يخفى أن مقدار س المذكور بالنسبة للفتحة اب يلزم أن يكون مساويا للمقدار $\frac{\text{س}+\text{سَ}}{٢}$ السابقة

فى أسهم الانحناء

متى كان العتب مرتكزا على جملة نقط ارتكاز موجودة فى استواء واحد ومحملا بأحمال موزعة بانتظام بالنسبة لكل فتحة فأن سهم الانحناء الأعظم فى كل من الفتحات المتوسطة أى فى كل من الفتحات الموجودة بين الفتحتين المتطرفتين يحسب كما فى حالة العتب المثبت من الطرفين ومحمل بحمل موزع بانتظام من القانون

$$\text{ف} = \frac{١}{٢٤} \times \frac{\text{ه}}{\text{و ى}} \left(\frac{\text{ل}}{٢}\right)^{٤} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (٥)$$

السابق ذكره فيما تقدم الذى فيه ف رمز لسهم الانحناء الاعظم ، ه رمز للحمل بالنسبة للمتر الطولى من العتب فى الفتحة المعتبرة ، و رمز لمعامل المرونة ، ى رمز لعزم قصور قطاع العتب ، ل رمز لطول الفتحة المفروضة .

وأما سهم الانحناء فى كل من الفتحتين المتطرفتين فيحسب من القانون

$$\text{ف} = \frac{١٠}{١١٥} \times \frac{\text{ه}}{\text{و ى}} \left(\frac{\text{ل}}{٢}\right)^{٤} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (٦)$$

ورموز هذا القانون عين رموز قانون (٥)

(تنبيه) قانون (٥) يكون حقيقيا بالنسبة للفتحات المتوسطة التى فى كل منها يكون عزما الانثناء فى نقطتى

نقطتى الارتكاز متساويين وتقريبيا متى كان العزمان المذكوران غير متساويين والتقريب المذكور يكون كافيا كلما كان الفرق بين العزمين المذكورين قليلا

وأما اذا كان الفرق المذكور كبيرا فيلزم البحث عن سهم الانحناء الأعظم فى الفتحة المفروضة بموجب القواعد المتقدمة الخاصة بحساب أسهم الانحناء مطبقة على الحالة التى يكون فيها العزمان فى قطاعى التثبيت غير متساويين والحمل موزع بانتظام على طول الفتحة

مسائل على جميع ما تقدم

(مسألة ١) اذا كان قضيب اسطوانى من الحديد قطره ٠,٠٣ متر وطوله ١٢ متر معلقا من احدى نهايتيه ومعلق فى النهاية الأخرى له ثقل قدره ٣٥٠٠ كيلوجرام فما يكون مقدار الاستطالة الناشئة عن الثقل المذكور من بعد معلومية أن مقدار معامل المرونة بالنسبة للمتر المربع يساوى ٢٠٠ × ١٠^٨

الجواب — نضع $\text{لَ} = \frac{\text{ح ل}}{\text{ق و}}$ ثم نضع فى هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها فيكون

$$\text{لَ} = \frac{١٢ \times ٣٥٠٠}{٣,١٤ \times ٠,٠١٥^{٢} \times ٢٠٠ \times ١٠^{٨}} = \frac{٤٢٠٠٠}{٠,٠٠٠٧٠٦٥ \times ٢٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠} = \frac{٤٢٠٠٠}{١٤١٣٠٠٠٠}$$

أو $\text{لَ} = ٠,٠٠٢٩٧ \text{ متر} = ٢,٩٧ \text{ مليمتر}$

(مسألة ٢) — اذا كان قضيب من الحديد معلقا من احدى نهايتيه ومعلق فى النهاية الأخرى له حمل قدره ٧ كيلوجرام على المليمتر المربع من قطاعه فما يكون مقدار الاستطالة النسبية من بعد معلومية أن معامل المرونة بالنسبة للمليمتر المربع يساوى ٢٠٠ × ١٠٠ = ٢٠٠٠٠

الجواب — نضع $\text{ى} = \frac{\text{ح}}{\text{ق}}$ ثم نضع فى هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها فيحدث

$$\text{ى} = \frac{٧}{٢٠٠٠٠} = ٠,٠٠٠٣٥ \text{ متر} = ٠,٣٥ \text{ مليمتر}$$

(مسألة ٣) المطلوب ايجاد مقدار الاستطالة فى المسألة الأولى باعتبار ثقل القضيب من بعد معلومية ان الثقل النوعى للحديد يساوى ٧,٨

الجواب — نضع $\text{لَ} = \frac{١}{\text{و ق}} \left(\text{ح ل} + \text{ب ث} \times \frac{\text{ل}^{٢}}{٢} \right)$ ثم نضع فى هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها فيكون

$$\text{لَ} = \frac{١}{١٤١٣٠٠٠٠} \left(١٢ \times ٣٥٠٠ + ٠,٠٠٠٧٠٦٥ \times ٧,٨ \times ١٠٠٠ \times \frac{١٢^{٢}}{٢} \right)$$

أو $\text{لَ} = \frac{٤٢٣٩٦,٧٧٠٤}{١٤١٣٠٠٠٠} = ٠,٠٠٣٠٠٤٧ \text{ متر}$

أو $\text{لَ} = ٣,٠٠٠٥ \text{ مليمتر}$

(مسألة ٤) — اذا كان قضيب منشورى من الحديد قطاعه مربع ضلعه ٠,٠٢ متر وطوله ٢,٠ متر معلقا من احدى نهايتيه فما يكون مقدار الحمل الذى يمكن تعليقه فى نهايته الأخرى مع الأمن من بعد معلومية ان معامل المقاومة يساوى ٨ كيلوجرام بالنسبة للمليمتر المربع

الجواب — نضع ح = م ق ثم نضع فى هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها فيحدث

ق = ٨٠٠٠٠٠٠ × ٠ر٠٠٠٤ = ٣٢٠٠ر٠ كيلوجرام

(مسألة ٥) - المطلوب حل المسألة الرابعة باعتبار ثقل القضيب

الجواب - نضع م ب = ق + ث ب ل وبها يحدث

ق = م ب - ث ب ل

ثم نضع في هذه المعادلة عوضاً عن الرموز مقاديرها فيحدث

ق = ٣٢٠٠ - ٧ر٨ × ١٠٠٠ × ٠ر٠٠٠٤ × ٢٠ أو

ق = ٣٢٠٠ - ٦٢ر٤ = ٣١٣٧ر٦ كيلوجرام

(مسألة ٦) - اذا كان المطلوب حمل ثقل قدره ٧٠٠٠ر٠ كيلوجرام بجنزير معتاد طوله ٨ر٠ متر فما مقدار قطر حديد حلقات الجنزير من بعد معلومية ان معامل المقاومة م = ٦ كيلوجرام بالنسبة للميلومتر المربع وان الثقل النوعي للحديد يساوي ٧ر٨

الجواب نضع ب = ق / (١ر٥ م - ٤ ل ث١)

وحيث أن ب = ط ء٢ / ٤ فيكون

ط ء٢ / ٤ = ق / (١ر٥ م - ٤ ل ث١) ومنها يحدث

ء = √(٤/ط × ق / (١ر٥ م - ٤ ل ث١)) = √(٤ / ٣ر١٤ × ٧٠٠٠ / (١ر٥ × ٦ × ٦٠ - ٤ × ٨ × ٧ر٨ × ١٠٠٠))

أو ء = ٠ر٠٣١٦ متر = ٣١ر٦ ميليمتر

ويمكن حساب قطر حديد الجنزير من القانون

ء = ٠ر٠٠٤١ √ق الذي منه يحدث

ء = ٠ر٠٣٤٣ متر = ٣٤ر٣ ميليمتر

ويمكن حساب قطر حديد الجنزير أيضاً من القانون

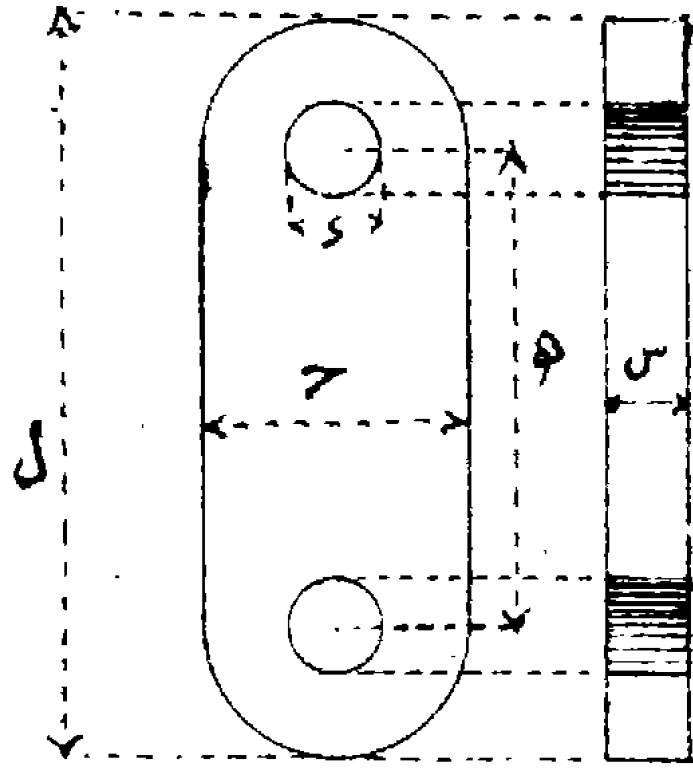
ء = √(١ر٦١٨ × ق / (١٨٨٤٩٠٠٠ - ٦٥١٦٠ ل)) الذي منه يحدث

ء = ٠ر٠٣٥١ متر = ٣٥ر١ مليمتر

(تنبيه) كل من المقادير السابق ايجادها لمقدار القطر ء لحديد الجنزير يمكن اتخاذه في العمل بلا فرق

(مسألة ٧) - اذا كان مقدار قطر جاويطة احدى خوص جنزير جال يساوي ٠ر٠٣ متر وأن عدد الخوص الموجودة على كل جاويطة يساوي ٧ر٠٠ فما يكون مقدار الحمل الذي يمكن رفعه مع الأمن بالجنزير المذكور من بعد معلومية أن معامل المقاومة = ٨ر٠٠ كيلوجرام بالنسبة للمليمتر المربع وما هي مقادير ابعاد كل خوصة

الجواب



الجواب ـ نضع ح = ٣ ء ،
هـ = ٤ ء ،
ل = ٧/٥ ء ،
س = ٥ر٠ ء

التى فيها الرموز تعلم من الشكل ثم نضع

(٢ ء + ١) > ١٢ ،

ع ء^٢ م = ق

وبناء على منطوق المسألة يكون

ح = ٣ × ٠٢ر٠ متر = ٠٦ر سنتيمتر ، هـ = ٠٨ر سنتيمتر ، ل = ١٥ر سنتيمتر ، س = ٠١ر سنتيمتر ، ع = ٤

وحينئذ بناء على القانون الأخير يكون

٣ × ‾٠٢ر٠‾^٢ × ٨ × ١٠^٦ = ق أو

ق = ٩٦٠٠ر كيلوجرام

(مسألة ٨) اذا كان حبل من القنب طوله ٤٠ر متر وقطره ٠٤ر٠ متر وأن معامل المقاومة بالنسبة للميليمتر المربع يساوى ١ر كيلوجرام فما مقدار الحمل الذى يمكن رفعه بالحبل المذكور بدون اعتبار ثقله

الجواب ـ نضع $\frac{ط ء^٢}{٤}$ م = ق ثم نضع فى هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها فيكون

ق = ١٢٥٦ كيلوجرام

ولأجل حل المسألة المذكورة باعتبار ثقل الحبل مع ملاحظة ان الثقل النوعى للقنب يساوى ٩٥ر نضع

$\frac{ط ء^٢}{٤}$ م = ق + $\frac{ط ء^٢}{٤}$ ل × ث١ أو

$\frac{ط ء^٢}{٤}$ (م ـ ل ث١) = ق

واذا وضع فى هذا القانون عوضا عن الرموز مقاديرها يحدث

$\frac{١٤ر٣ × ‾٠٤ر٠‾^٢}{٤}$ (١٠٠٠٠٠ ـ ٩٥ر × ١٠٠٠ × ٤٠) = ق أو

ق = ٢٧ر١٢٠٨ كيلوجرام

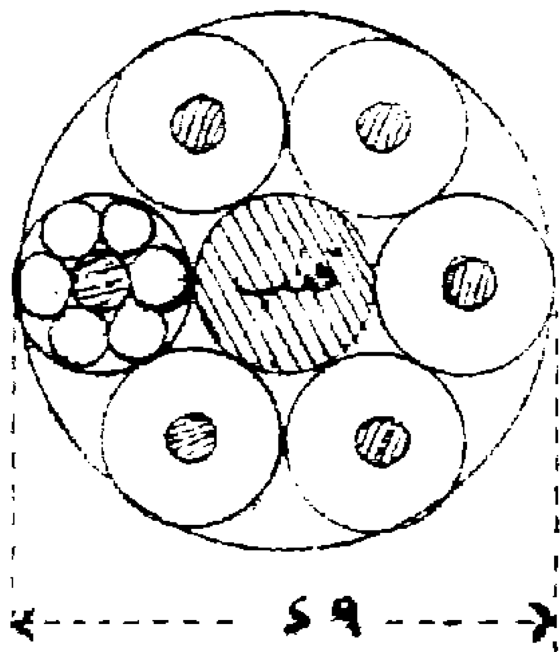
(مسألة ٩) ـ اذا كان حبل معدنى طوله ٨٠ر متر مكونا من ست جدائل معدنية وكل جديلة مكونة من ست سلوك من الحديد قطر كل منها ٢٠٠ر متر فما مقدار الحمل الذى يمكن رفعه بالحبل المذكور بعدم اعتبار ثقله مع بعد معلومية ان معامل المقاومة يساوى ١٤ر كيلوجرام بالنسبة للميليمتر المربع

الجواب ـ نضع $\frac{٣٦ ط ء^٢}{٤}$ م = ق

واذا وضع فى هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها يحدث

$\frac{٣٦ × ١٤ر٣ × ‾٠٠٢ر٠‾^٢}{٤}$ × ١٤٠٠٠٠٠ = ق أو

ق = ٥٦ر١٥٨٢ كيلوجرام



ولأجل حل المسألة المذكورة باعتبار ثقل الحمل المعدني نضع

$$\frac{٣٦\, ط\, ء^{٢}}{٤}\, م = ق + \frac{٣٦\, ط\, ء^{٢}}{٤}\, ل \times ث_{١} + \frac{١٥\, ط\, ء^{٢}}{٤}\, ل \times ث$$ ومنها يحدث

$$ق = \frac{٣٦}{٤}\, ط\, ء^{٢}\, م - \frac{٣٦}{٤}\, ط\, ء^{٢}\, ل\, ث_{١} - \frac{١٥}{٤}\, ط\, ء^{٢}\, ل\, ث_{١}$$

واذا وضع في هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها يحدث

$$ق = ٩ \times ٣ر١٤ \times \overline{٠ر٠٠٢}^{٢} \times ١٤ \times ١٠^{٦} - ٩ \times ٣ر١٤ \times \overline{٠ر٠٠٢}^{٢} \times ٠ر٨ \times ٧ر٨ \times ١٠٠٠ - \frac{١٥}{٤} \times ٣ر١٤ \times \overline{٠ر٠٠٢}^{٢} \times ٠ر٨ \times ٠ر٩٥ \times ١٠٠٠$$

أو

$$ق = ١٥٠٨ر٤٤ \text{ كيلوجرام}$$

(مسألة ١٠) اذا كان مقدار الحمل الواقع على جاويطة مساويا ١٧٠٠ كيلوجرام وأن معامل المقاومة يساوي ٧ر كيلوجرام بالنسبة للمليمتر المربع فما مقدار قطر الجاويطة في الجزء الأملس وما هي مقادير باقي اجزاء الجاويطة المذكورة

الجواب ـ نضع $\frac{ط\, ء^{٢}}{٤}\, م = ق$

وحيث ان القطر ءَ في الجزء المقلوظ يساوي ٠ر٨ ء فيكون

$$\frac{ط}{٤} \times ٠ر٦٤\, ء^{٢}\, م = ق$$

واذا وضع في هذا القانون عوضا عن الرموز مقاديرها يحدث

$$\frac{٣ر١٤}{٤} \times ٠ر٦٤ \times ٧ \times ١٠^{٦}\, ء^{٢} = ١٧٠٠ \text{ كيلوجرام ومنه يكون}$$

$$ء = \sqrt{\frac{١٧٠٠}{٣٥١٦٨٠٠}} = ٠ر٠٢٢ \text{ متر} = ٢٢ر \text{ ملليمتر}$$

وحيث علم مقدار ء فيكون

أ = ١ر٥ ء = ٣٣ر ملليمتر اذا كانت الرأس مستديرة ،

أ = ٢ ء = ٤٤ ملليمتر اذا كانت الرأس مسدسة ،

م = ء = ٢٢ر مليمتر ،

م₁ = ء/٢ = ١١ر ملليمتر بالنسبة للصواميل السفلى ،

م₁ = ء = ٢٢ر ملليمتر بالنسبة للصواميل المعتادة

م₁ = ١ر٢٥ ء = ٢٧ر٥ ملليمتر بالنسبة للصواميل العليا

وأما من جهة الرموز فانها تفهم من الشكل

(مسألة ١١) ـ اذا كان المطلوب برشمة لوحين من الصاج سمك كل منهما ٠ر٠١٥ متر وعرض كل منهما ٠ر٥٠ متر فما يكون عدد مسامير البرشام اللازم لذلك وما هو قطر مسمار البرشام

الجواب ـ نضع

$$م\, س\, ل = ن\, \frac{ط\, ء^{٢}}{٤}\, مَ \quad ، \quad ء = ٢\, س$$

وحيث أن المعامل مَ لقوة التصاق مسمار البرشام يؤخذ عادة مساويا لنصف معامل مقاومة الصاج م فاذا

م فاذا جعل م = ٠٫٧ كيلوجرام بالنسبة للمليمتر المربع يكون مَ = ٥٫٦ كيلوجرام ويحدث

٧ س ل = ط ء٢/٤ × ٥٫٦ × ن .

وبناء على المعادلة الثانية يكون ٧ س ل = ط/٤ × ٤ س٢ × ٥٫٦ × ن أو

٧ ل = ط س × ٥٫٦ × ن ومنها يحدث

ن = ٧/٥٫٦ × ل/ط س = ٢ ل/ط س

واذا وضع فى هذه المعادلة الأخيرة عوضا عن الرموز مقاديرها يحدث

ن = (٢ × ٠٫٥) / (٣٫١٤ × ٠٫٠١٥) = ١ / ٠٫٠٤٧١ = ٢١٫٢

اعنى ان عدد مسامير البرشام يساوى ٢٢ مسمار

وبقسمة مقدار عرض اللوح الصاج وهو ٠٫٥٠ متر أى ٥٠٠ مليمتر على ٢١ يكون مقدار البعد بين محورى كل مسمارين متتابعين يساوى ٢٣٫٨ مليمتر

وحيث أن البعد بين محورى كل مسمارين متتابعين من مسامير البرشام يلزم ان يحقق المعادلة

أ = ٤ س

التى فيها أ رمز للبعد بين محورى مسمارين متتابعين و س رمز لسمك الصاج فحينئذ يلزم ان يكون البعد بين محورى كل مسمارين متتابعين مساويا الى ٦٠ ميليمتر وعليه فلا يصح وضع المسامير المذكوره على صف واحد بل يلزم وضعها على ثلاثة صفوف متوازية وضعا شطرنجيا كما فى الشكل بحيث يشتمل كل صف على سبعة مسامير واذا اعتبر ان معامل مقاومة الالتصاق مَ يساوى معامل مقاومة الصاج م يكون

م = مَ وقانون ن = ٢ ل/ط س يؤل الى ن = ل/ط س

أعنى ان عدد المسامير فى هذه الحالة يكون نصف عدد المسامير فى الحالة السابقة أعنى انه يكون

ن = ١٠٫٥ أو ن = ١١ مسمارا

وحينئذ فيقتضى وضع المسامير المذكوره على صفين وضعا شطرنجيا

وأما قطر مسمار البرشام فأنه بناء على معادلة ء = ٢ س يكون مساويا الى ٣٠ ميليمتر

(مسأله ٢١) ـ المطلوب ايجاد عدد المسامير فى المسألة السابقة باستعمال غطاء لحام ومراعاة توزيع جانب من الحمل الكلى بواسطة كل صف من المسامير على غطاء اللحام

الجواب ـ نضع ش = م س ل .... (١)

ن١ = ١/٦ ل/ء .... (٢)

١/٢ م ن١ ط ء٢/٤ = ش١ .... (٣)

٠٫٧ م س (ل − ن١ ى) = ش − ش١ .... (٤)

١/٢ م ن٢ (ط ى²)/٤ = ش٢ .... (٥)

٠٫٧ م س (ل − ن٢ ى) = ش − ش١ − ش٢ .... (٦) وهكذا

التي فيها ش رمز للحمل الذي يقاوم قطاع الصاج غير المقطوع ، س رمز لسمك الصاج ن١ ن٢ ن٣ ،.... رموز لعدد المسامير في الصف الأول والثاني والثالث وهكذا ، ش١ ، ش٢ ،..... رموز للقوى الناشئة عن المسامير في كل صف أي رموز لقوى الالتصاق بالنسبة لكل صف من المسامير ، م رمز لمعامل مقاومة الصاج

وحينئذ بناء على منطوق المسألة يكون

ش = ٧ × ١٥ × ٥٠٠ = ٥٢٥٠٠ كيلوجرام

ن١ = ١/٦ × ٥٠٠/(٢ × ١٥) = ٢٫٧٧ = ٣٫٠٠

ش١ = ٣٫٥ × ٣ × ٣٫١٤/٤ × ٣٠² = ٧٤١٨٫٢٥ كيلوجرام

٠٫٧ م س (ل − ن٢ ى) = ش − ش١ = ٤٥٠٨١٫٧٥ كيلوجرام أو

٦٣٠٠٠ − ٤٥٠٨١٫٧٥ = ٣٧٨٠ ن٢ ومنها يحدث

ن٢ = ١٧٩١٨/٣٧٨٠ = ٤٫٧٤ = ٥

وبناء على معادلة (٥) يكون

٢٤٧٢٫٧٥ ن٢ = ش٢ أو

ش٢ = ٢٤٧٢٫٧٥ × ٥ = ١٢٣٦٣٫٧٥ كيلوجرام

وحينئذ يكون ش − ش١ − ش٢ = ٣٢٧١٨ كيلوجرام

وبناء على معادلة (٦) يكون ٦٣٠٠٠ − ٣٢٧١٨ = ٣٧٨٠ ن٣ ومنها يحدث

ن٣ = ٣٠٢٨٢/٣٧٨٠ = ٨

وبناء على المعادلة المشابهة لمعادلة (٢) أو (٥) يكون ش٣ = ٢٤٧٢٫٧٥ × ٨ = ١٩٧٨٢ كيلوجرام

وحينئذ يكون ش − ش١ − ش٢ − ش٣ = ١٢٩٣٦ كيلوجرام

وبناء على المعادلة المشابهة لمعادلة (٤) أو (٦) يكون

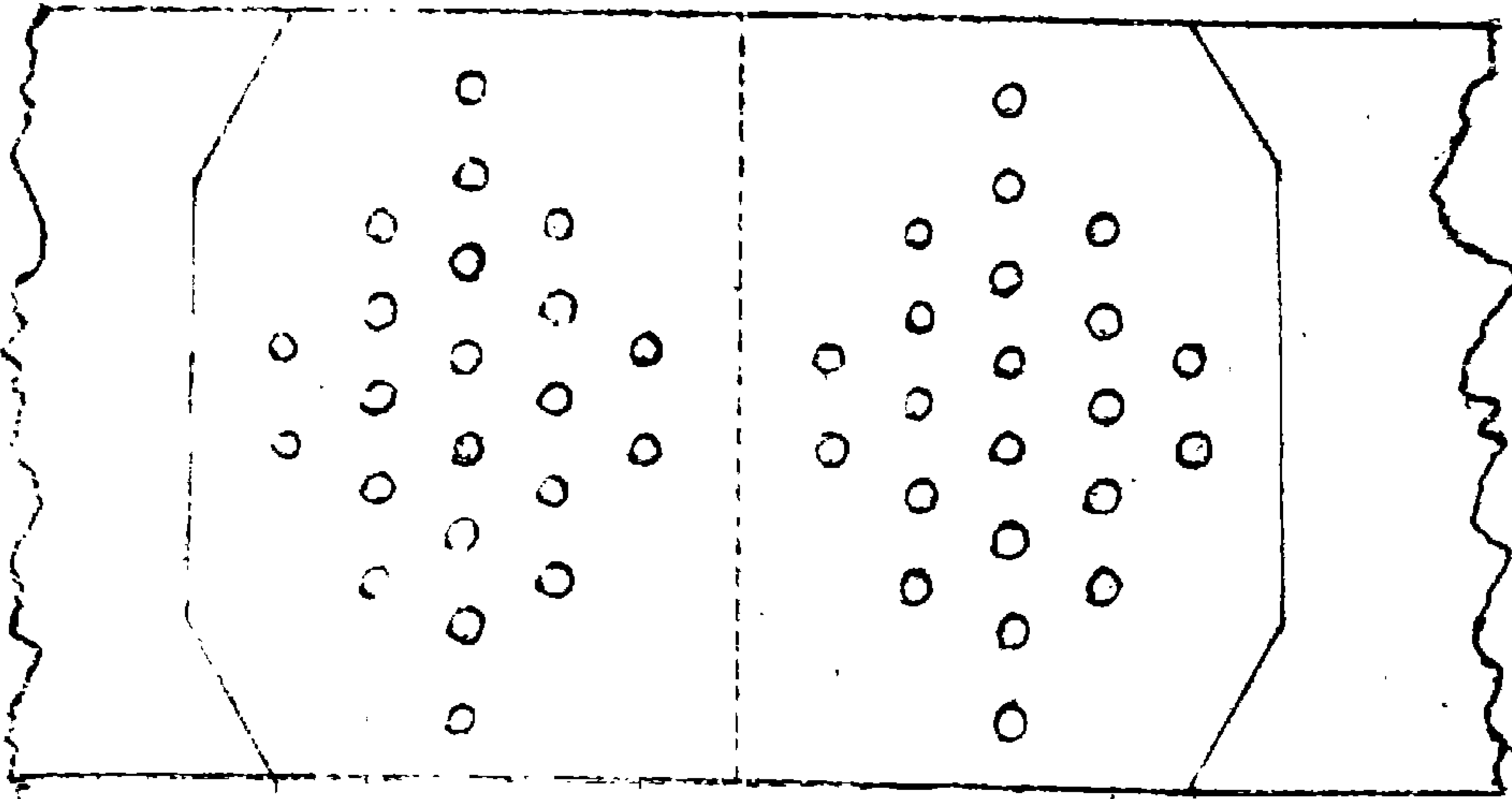
٦٣٠٠٠ − ١٢٩٣٦ = ٣٧٨٠ ن٤ ومنها يحدث

ن٤ = ٥٠٠٦٤/٣٧٨٠ = ١٣٫٢ = ١٣

ولكن حيث أن عدد المسامير في الصف الرابع يلزم أن يحقق معادلة ى = ٤ س = ٦٠ مليمتر وأنه ٥٠٠/١٣ = ٣٨٫٤٦ مليمتر

فحينئذ يقتصر في عدد الصفوف الى الصف الثالث فقط وحيث أنه يلزم وضع المسامير وضعا شطرنجيا على صفوف موازية لخط اللحام من الطرفين كما يشاهد من الشكل وان اعتبار عدد مسامير الصف الأول

ثلاثة



ثلاثة لايناسب الوضع المذكور فحينئذ يلزم جعل عدد مسامير الصف الأول المذكور مساوياً الى ٢ فقط وعليه اذا رمز للعدد الكلى للمسامير بالرمز ن يكون

$$\text{٤ن}_{١} + \text{٤ن}_{٢} + \text{٢ن}_{٣} = \text{ن} \quad \text{أو}$$

$$\text{ن} = ٤ \times ٢ + ٤ \times ٥ + ٢ \times ٨ = ٤٤$$

(مسألة ١٢) اذا كان ضغط البخار داخل القزان مساوياً ١٢ جو وان البعد بين محورى مسمارين متواليين من مسامير برشام افران القزانات يساوى ١٢٠ر ملليمتر فما يكون مقدار قطر أحد المسامير المذكورة فى الجزء الأملس بعد معلومية ان معامل المقاومة م = ٦ كيلوجرام بالنسبة للمليمتر المربع

الجواب ـ نضع $\text{ن أ} = \text{م} \, \frac{\text{ط}}{٤} \, \text{ءَ}^{٢}$

وحيث أن $\text{ءَ} = ٨ر٠ \, \text{ء}$ فيكون

$$\text{ن أ} = ٠٫٦٤ \, \text{م} \, \frac{\text{ط}}{٤} \, \text{ء}^{٢}$$

واذا وضع فى هذا القانون عوضاً عن الرموز مقاديرها يكون

$$٠٫١١ \times ١٢٠ \, \text{أ} = ٠٫٦٤ \times ٦ \times \frac{٣٫١٤}{٤} \times \text{ء}^{٢} \quad \text{ومنه يحدث}$$

$$\text{ء} = ٢٢ر \quad \text{ميلى متر}$$

(مسألة ١٤) ـ اذا كان قائم من الخشب البلوط القوى طوله ٦ر متر قطاعه مستطيل بعداه ٢ر متر ، ١٥ر متر فما يكون مقدار الحمل الذى يمكن ان يحمله القائم المذكور مع الأمن بعد معرفة أن مقدار ك فى هذه الحالة يساوى ٥٫٠٥٦ بالنسبة للمليمتر المربع

الجواب ـ نضع $\text{ح} = \text{ك} \times \frac{\text{ا ح}^{٣}}{\text{ل}^{٢}}$

واذا وضع فى هذا القانون عوضاً عن الرموز مقاديرها يحدث

$$\text{ح} = ٥٫٠٥٦ \times ١٠^{٦} \times \frac{٠٫٢ \times \overline{٠٫١٥}^{٢}}{٦^{٢}} = ٥٠٥٦٠٠٠٠٠ \times \frac{٠٫٢ \times ٠٫٠٠٢٢٧٥}{٢٦}$$

او يكون مقدار الحمل الذى يحمله القائم مع الأمن هو

$$\text{ح} = ٤٨٠٩٫٢٧٥ \quad \text{كيلوجرام}$$

(مسألة ١٥) ـ اذا كان عمود مصمت من الزهر طوله ٤ر متر يلزم ان يحمل مع الأمن حملا قدره

١٢٠٠٠ كيلوجرام مع ملاحظة ان يكون محملا بسدس حمل الكسر وان معامل المقاومة للكسر بالنسبة لمليمتر المربع هو ٧٥ كيلوجرام فما هو مقدار قطر العمود المذكور

الجواب – باستعمال قانون هودكينسون نضع

$$\text{٧٢٠٠٠} = \text{٨٢ر٨٥} \times \text{٧٥} \times \frac{ء^{\text{٣ر٦}}}{(\text{٤٠٠٠})^{\text{١ر٧}}} \quad \ldots\ldots (١)$$ ومنه يحدث

$$\text{١١٥ر٨٧} \times \text{٤٠٠٠}^{\text{١ر٧}} = ء^{\text{٣ر٦}}$$ وبأخذ لوغاريتم الطرفين يحدث

$$\text{لو } \text{١١٥ر٨٧} + \text{١ر٧ لو } \text{٤٠٠٠} = \text{٣ر٦ لو}ء$$ ومنه يحدث

$$\text{لو}ء = \frac{\text{لو } \text{١١٥ر٨٧} + \text{١ر٧ لو } \text{٤٠٠٠}}{\text{٣ر٦}}$$ أو

ء = ١٨٨ر٠٦ مليمتر أو ء = ١٨٨ر٠٠ مليمتر

وحيث أن $$\frac{ل}{ء} = \frac{\text{٤٠٠٠}}{\text{١٨٨}} = \text{٢١ر٢٨}$$

أعنى أن ارتفاع العمود أقل من ٣٠ر مرة قطره فحينئذ يجب تصحيح المقدار السابق للقطر ء بأن يحسب اولا الحمل ح من القانون

$$\bar{ح} = \frac{ح}{\frac{ع}{م} + \text{٠ر٧٥}}$$

الذى فيه يجعل ح̄ = ٧٢٠٠٠ ويستخرج مقدار ح وحينئذ يكون

$$ح = \frac{\text{٠ر٧٥ } م\,\bar{ح}}{م - \bar{ح}}$$ أو

$$ح = \frac{\text{٠ر٧٥} \times \text{٧٥} \times \text{٦٠} \times \text{٧٢٠٠٠}}{\text{٧٥} \times \text{٦٠} - \text{٧٢٠٠٠}} = \text{٥٤٥٢٤ر٤}$$ كيلوجرام

ثم يوضع مقدار ح هذا فى قانون (١) بدلا عن ٧٢٠٠٠ ويحسب مقدار ء فيكون

$$\text{لو}ء = \frac{\text{لو } \text{٨٧ر٧٤٦} + \text{١ر٧ لو } \text{٤٠٠٠}}{\text{٣ر٦}}$$ أو

ء = ١٧٤ر٠٨ مليمتر أو ء = ١٧٤ر٠٠ مليمتر

وباستعمال قانون لوف فى حل هذه المسألة نضع

$$ح = \frac{م \times \frac{ط}{٤} ء^{٢}}{\text{١ر٤٥} + \text{٠ر٠٠٢٢٧} \left(\frac{ل}{ء}\right)^{٢}}$$ ومنه يحدث

$$\text{١ر٤٥ } ح + \text{٠ر٠٠٢٢٧} \left(\frac{ل}{ء}\right)^{٢} ح = م \frac{ط}{٤} ء^{٢}$$ أو

$$\text{١ر٤٥ } ح\, ء^{٢} + \text{٠ر٠٠٢٢٧ } ل^{٢} ح = م \frac{ط}{٤} ء^{٤}$$

وبفرض ان $ء^{٢} = ء_{١}$ يكون

$$م \frac{ط}{٤} ء_{١}^{٢} - \text{١ر٤٥ } ح\, ء_{١} - \text{٠ر٠٠٢٢٧ } ل^{٢} ح = ٠$$ أو

$$ء_{١}^{٢} - \frac{\text{٤} \times \text{١ر٤٥ } ح}{م\, ط} ء_{١} - \frac{\text{٤} \times \text{٠ر٠٠٢٢٧ } ل^{٢} ح}{م\, ط} = ٠$$ ومنها يحدث

$ء_{١} =$

$$\text{ء}_{1} = \frac{4\times 1{,}45\,\text{ح}}{2\,\text{م ط}} \pm \sqrt{\left(\frac{4\times 1{,}45\,\text{ح}}{2\,\text{م ط}}\right)^{2} + \frac{4\times 0{,}00227\,\text{ل}^{2}\,\text{ح}\times\text{م ط}}{(\text{م ط})^{2}}}$$

وباستخراج مقدار ء₁ بالمليمترات من هذه المعادلة بعد ان يوضع عوضا عن الرموز مقاديرها وملاحظة أن فى هذه الحالة م = ١٢ر٥ كيلوجرام / ح = ١٢٠٠٠٠ر ، ل = ٤٠٠٠ يكون

$$\text{ء}_{1} = 36022{,}64 \qquad \text{وعليه يكون}$$

$$\text{ء} = \sqrt{36022{,}64} = 189{,}8 \quad \text{أو}\quad \text{ء} = 190 \text{ مليمتر}$$

وبمقارنة مقدار ء الناتج من قانون هودكينسون بمقداره الناتج من قانون لوف يرى أن المقدار الأخير يقرب من مقدار ء الناتج من قانون هودكينسون قبل التصليح ويبعد عن المقدار الناتج بعد التصليح

وحيث أن ارتفاع العمود أقل من ٣٠ مرة القطر فيجب حينئذ استعمال قانون لوف الذى هو

$$\text{ح} = \frac{\text{م}\,\frac{\text{ط}}{4}\,\text{ء}^{2}}{0{,}68 + 0{,}1\,\frac{\text{ل}}{\text{ء}}} \qquad \text{ومنه يحدث}$$

$$0{,}68\,\text{ح} + 0{,}1\,\frac{\text{ل}}{\text{ء}}\,\text{ح} = \text{م}\,\frac{\text{ط}}{4}\,\text{ء}^{2} \qquad \text{أو}$$

$$0{,}68\,\text{ح ء} + 0{,}1\,\text{ل ح} = \frac{\text{م ط}}{4}\,\text{ء}^{3} \qquad \text{أو}$$

$$\text{ء}^{3} - \frac{4\times 0{,}68\,\text{ح}}{\text{م ط}}\,\text{ء} = \frac{4\times 0{,}1\,\text{ل ح}}{\text{م ط}} = 4891719{,}74$$

$$\text{أو} \qquad \text{ء}^{3} - 58315{,}92\,\text{ء} = 4891719{,}74$$

ومن هذه المعادلة يرى أن مقدار القطر ء محصور بين ١٨٦ر مليمتر ، ١٨٧ر مليمتر أى أنه ١٨٦ مليمتر وكسور

ويرى من ذلك ان هذا المقدار يقرب جدا من المقدار غير المصحح الناتج من قانون هودكينسون

(مسألة ١٦) ـ اذا كان عمود من الحديد قطره ٣٠ر٠ متر وطوله ٦ر متر فما يكون مقدار الحمل الذى يمكن ان يحمله مع الأمن من بعد معلومية أن معامل المقاومة م = ٦ كيلوجرام بالنسبة للمليمتر المربع

الجواب ـ حيث ان $\frac{\text{ل}}{\text{ء}} = \frac{600 \text{ سنتيمتر}}{30 \text{ سنتيمتر}} = 20$

أعنى ان $\frac{\text{ل}}{\text{ء}}$ محصور بين ٥ ، ٣٠ فيلزم استعمال قانون

$$\text{ح} = \frac{\text{س م}}{0{,}85 + 0{,}04\times\frac{\text{ل}}{\text{ء}}}$$

واذا وضع فى هذا القانون عوضا عن الرموز مقاديرها يحدث

$$\text{ح} = \frac{423900}{1{,}65} = 256909{,}09 \text{ كيلوجرام}$$

وباستعمال قانون

$$\text{ح} = \frac{\text{س م}}{1{,}00 + 0{,}0005\left(\frac{\text{ل}}{\text{ء}}\right)^{2}}$$

يكون

$$\text{ح} = 242228{,}0 \text{ كيلوجرام}$$

وهذا المقدار أصغر من المقدار السابق ايجاده الذى يلزم ان يعول عليه فى هذه الحالة

مسألة (١٧) المعلوم مسطح من الأرض الرخوة قدره ١٠٠ متر مربعا والمطلوب بناء منزل عليه بحيث أن الثقل الكلى للبنا المذكور مع مايتعلق به يساوى ١٥٠٠ طونولاتة فما هو عدد الخوازيق الخشبية اللازم أن يؤسس عليها من بعد معلومية ان قطاع كل خازوق يساوى ١٥٠ سنتى متر مربعا وان معامل المقاومة يساوى ٣٥ كيلوجرام بالنسبة للسنتى متر المربع

الجواب - نرمز لعدد الخوازيق المطلوبة بالرمز ن فيكون

ن = (١٥٠٠ × ١٠٠٠) / (١٥٠ × ٣٥) = ١٠٠٠٠ / ٣٥ = ٢٨٥ر٧

أو أن ن = ٢٨٦ خازوقا

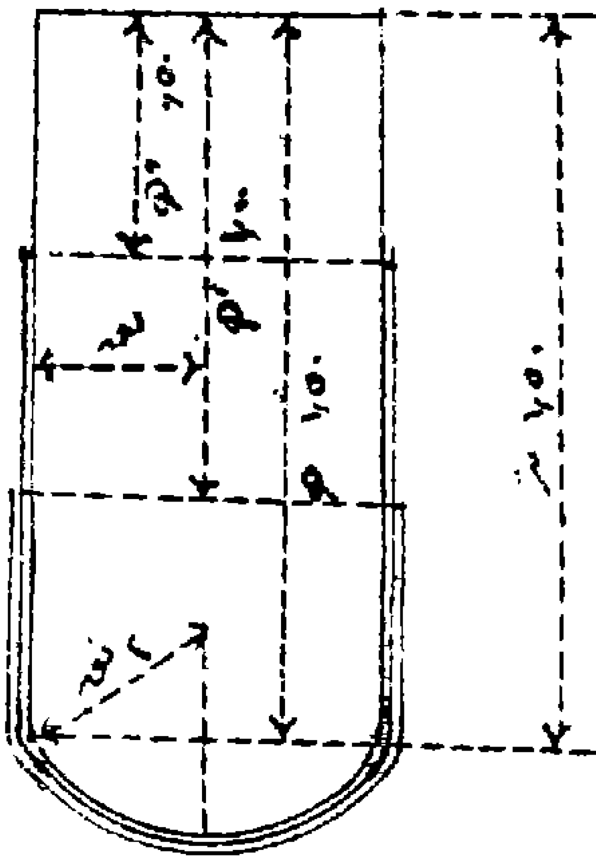
مسألة (١٨) - اذا كان المطلوب تشغيل قزان اسطوانى لآلة بخارية قطره الداخل ١ر٢ متر يضغط قدره ٥ جوات فما يكون مقدار سمك صاج القزان المذكور

الجواب - نضع س = ١ر٨ د (ن − ١) + ٢ ميلى متر

واذا وضع فى هذا القانون عوضا عن الرموز مقاديرها يحدث

س = ١٠ر٢ ميلى متر

مسألة (١٩) - المطلوب عمل حوض اسطوانى من الصاج قطره الداخل ٠ر٦ متر وارتفاعه ١ر٥ متر معد للمئه بالماء بحيث يكون ارتفاعه منقسما الى ثلاثة اقسام متساوية كل منها له سمك ثابت من بعد معلومية ان معامل المقاومة يساوى ٧ كيلوجرام بالنسبة لمليمتر المربع



الجواب - نرمز لاسماك الاقسام الثلاثة المذكوره بالابتدا من القسم الأسفل بالرموز س ، س َ ، س ً فيكون

س = (١٠٠٠ هـ / ك) نق + ٠ر٠٠٢٥ متر ،

سَ = (١٠٠٠ هـَ / ك) نق + ٠ر٠٠٢٥ متر ،

سً = (١٠٠٠ هـً / ك) نق + ٠ر٠٠٢٥ متر

واذا وضع على التوالى فى هذه المعادلات عوضا عن الرموز مقاديرها يحدث

س = ٢ر٥٦ مليمتر ، سَ = ٢ر٥٤ مليمتر ، سً = ٢ر٥٢ مليمتر

وأما سمك القاع فيكون مساويا لسمك القسم الأسفل سواء كان القاع المذكور مستويا أو منحنيا بنصف قطر لحنائه مساو لقطر الحوض من الداخل

(مسألة ٢٠) - ماسورة توصيل مياه من الحديد قطرها الداخل ٠ر٤ متر معرضة لضغط قدره ٨ جوات فما يكون مقدار سمك الماسورة المذكوره

الجواب - نضع س = ك د ن + ٢

وبناء على الجدول المذكور فى صحيفة (٤٢ جزء اول) يكون

ص = ٠ر٠٠٠٨٦

ل = ٠٫٠٠٠٨٦ × ١ = ٢٠٠ر٠ متر

واذا وضع حينئذ عوضاً عن الرموز مقاديرها فى القانون المذكور يحدث

س = ٠٫٠٠٠٨٦ × ٠٫٠٤ × ٨ + ٢٠٠ر٠ أو

س = ٥٧٥ر٥ ميليمتر

مسألة (٢١) – اذا كان القطر الداخل لاسطوانة المضغط الايدروليكى يساوى ٤ر٠ متر وأن هذا المضغط يمكن ان يشتغل تحت ضغط قدره ٥٠ جوًّا والمطلوب معرفة سمك الاسطوانة المذكوره من بعد معلومية أن معامل المقاومة بالنسبة لليليمتر المربع يساوى ٦ كيلوجرام

الجواب – نضع س = ق × $\frac{ق}{٢م}$ + ١٠ر٠ ميليمتر

وحيث ان ق عبارة عن الضغط الواقع على الوحدة السطحية من سطح اسطوانة المضغط المذكور فاذا وضع عن الرموز مقاديرها فى القانون المذكور يحدث

س = ٢٠ر٠ × $\frac{٤٥٠}{٦٠٠}$ + ٠١٠ر٠ = ٢٥ر٩٤ ميليمتر

(مسألة ٢٢) عتب من الخشب قطاعه مستطيل ثابت طوله ٤ر٠ متر مثبت افقيا من احدى نهايتيه ويحمل فى النهاية الأخرى المطلقه بحمل قدره ٣ر٠ طونولاته والبعد الرأسى للقطاع يساوى ٥ر٠ متر والمطلوب معرفة مقدار البعد الافقى للقطاع المذكور ثم مقدار سهم انحناء الطرف المطلق للعتب المذكور من بعد معلومية أن معامل المقاومه يساوى ٨٠ كيلوجرام بالنسبة لسنتيمتر المربع وأن معامل المرونة بالنسبة للسنتيمتر المربع يساوى ٩ × ٢٠

٤ر٠٠ متر

٣٠٠ ك جرام

الجواب – نضع اولاً $\frac{م ع}{هـ}$ = ق ل

وحيث ان عزم قصور القطاع ع = $\frac{١}{١٢}$ ب هـ^{٣} فالمعادلة السابقة تؤل الى

$\frac{١}{٦}$ م ب هـ^{٢} = ق ل ومنها يحدث

ب = $\frac{٦ ق ل}{م هـ^{٢}}$

واذا وضع فى هذه المعادلة عوضاً عن الرموز مقاديرها يحدث

ب = $\frac{٦ × ٣٠٠ × ٤}{٨٠٠٠٠٠ × ٠٫٥٠}$ = $\frac{٧٢}{٨٠٠ × ٠٫٢٥}$ = $\frac{٧٢}{٢٠٠}$ أو

ب = ٣٦ر٠ متر اعنى ان البعد الافقى للقطاع = ٣٦ر٠ متر

ولحساب سهم انحناء الطرف المطلق نضع

ف = $\frac{٢}{٣}$ × $\frac{م ل^{٢}}{و هـ}$

واذا وضع فى هذه المعادلة عوضاً عن الرموز مقاديرها يحدث

ف = $\frac{٢}{٣}$ $\frac{١٦ × ٨٠٠٠٠٠}{٠٫٥ × ٩٠٠٠٠٠٠٠٠}$ = $\frac{١٢٨ × ٢}{٤٥٠٠ × ٣}$ = $\frac{٢٥٦}{١٣٥٠٠}$ أو ف = ١٨ر٩٦ ميليمتر

(مسألة ٢٣) – عتب من الخشب قطاعه مربع طوله ٣ر متر مثبت افقيا من احدى الطرفين ومطلق من الطرف الآخر ومحمل فى الطرف المطلق بحمل قدره ٢ر طونولاته ومن الوسط بحمل قدره ٣ طونولاته والمطلوب معرفة ضلع القطاع من بعد معلومية ان معامل المقاومة يساوى ٧٥ كيلوجرام بالنسبة للسنتيمتر المربع

الجواب – نضع

$$\frac{م هـ^{3}}{٦} = ق ل + \frac{1}{2} ق ل \quad \text{أو}$$

$$هـ^{3} = \frac{٦ (ق ل + \frac{1}{2} ق ل)}{م}$$

واذا وضع فى هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها يحدث

$$هـ^{3} = \frac{٦ \times ٢٠٠٠ \times ٣ + ٣ \times ٣٠٠٠ \times ٣}{٧٥٠٠٠٠٠} = \frac{٦٣}{٧٥٠} \quad \text{او}$$

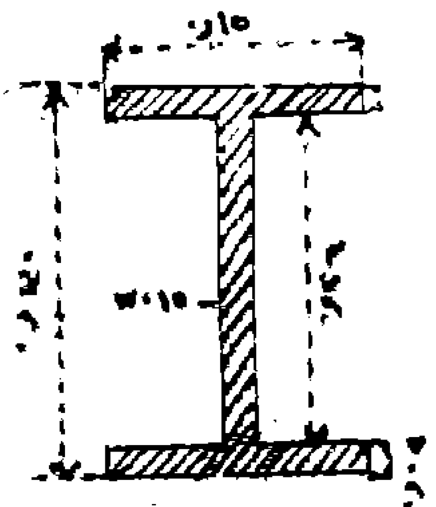
$$هـ^{3} = ٠٨٤ر٠ \quad \text{أو} \quad هـ = ٤٣٨ر٠ \text{ متر}$$

أعنى ان ضلع قطاع العتب يساوى ٤٣٨ر٠ متر

(مسألة ٢٤) – عتب من الحديد قطاعه ثابت على شكل ضعف حرف التاء ابعاده كما هو موضح فى الشكل وطول العتب المذكور ٦ر متر وهو مثبت افقيا من احد الطرفين ومطلق من الطرف الآخر ومحمل بحمل موزع بانتظام على طوله والمطلوب معرفة مقدار الحمل الموزع بانتظام على المتر الطولى من العتب المذكور بعد ملاحظة ان معامل المقاومة بالنسبة للمليمتر المربع يساوى ٨ كيلوجرام وان معامل المرونة بالنسبة للمتر المربع يساوى ٢٠٠٠٠ × ١٠^٦ كيلوجرام ثم تعيين مقدار سهم انحناء الطرف المطلق وتحقيق القطاع المفروض بالحمل القاطع كذلك

الجواب – نضع $ع = \frac{٢ م ك}{٣ر٠}$

وحيث ان $ك = \frac{1}{12} (١٥ر٠ \times ٣ر٠^{3} - ١٤٥ر٠ \times ٢٦ر٠^{3}) = ٠٠٠١٤ر٠$ و $م = ٨٠٠٠٠٠٠$ يكون



$$ع = \frac{٢ \times ٨٠٠٠٠٠٠ \times ٠٠٠١٤ر٠}{٣ر٠} = ٧٤٦٦ر٦٧$$

وحيث ان فى هذه المسألة $ع = \frac{1}{2} ق ل^{2}$ فيكون

$$٧٤٦٦ر٦٧ = \frac{1}{2} ق ٦^{2} \quad \text{ومنه يحدث}$$

$$ق = \frac{١٤٩٣٣ر٣٤}{٣٦} = ٤١٤ر٨١ \text{ كيلوجرام}$$

وهو مقدار الحمل الموزع بانتظام على المتر الطولى من العتب المفروض

ولحساب سهم انحناء النهاية المطلقة للعتب المفروض نضع

$$ف = \frac{1}{٨} \times \frac{ق ل^{4}}{و ك} = \frac{1}{٢} \times \frac{م ل^{2}}{هـ و} = ٠٢٤ر٠ \text{ متر}$$

أعنى

اعني ان سهم انثناء الطرف المطلق للعتب المفروض يساوى ٠٫٤ مليمتر ولتحقيق قطاع العتب بالحمل القاطع نرمز للقطاع المذكور بالرمز ب وحينئذ يلزم ان يكون

م ب ≤ ه ل

وحيث ان ب = ٠٫٠٠٩٩ متر مربع فيكون

م ب = ٨٠٠٠٠٠٠ × ٠٫٠٠٩٩ = ٧٩٢٠٠ كيلوجرام

وكان ه ل = ٢٤٨٨٫٨٦ كيلوجرام

فيفهم من ذلك ان قطاع العتب يتحمل الحمل القاطع

(مسألة ٢٥) — اذا صار تحميل العتب المذكور في المسألة السابقة باحمال متزايدة بانتظام بكيفية مستمرة فما يكون مقدار الحمل الواقع في قطاع التثبيت وما مقدار محصلة تلك الاحمال وبعد نقطة تأثيرها عن قطاع التثبيت وما مقدار الحمل القاطع

الجواب — نضع ع = ١/٦ ك ل٢ وحيث كان

ع = ٢ م ك / ه = ٧٤٦٦٫٦٧ كيلوجرام فيكون

١/٦ ك ل٢ = ٧٤٦٦٫٦٧ ومنها يحدث

ك = ١٢٤٤٫٤٤٥ كيلوجرام

وحيث ان المحصلة ه تساوى ١/٢ ك ل فيكون

ه = ٢٧٢٢٫٢٢٥ كيلوجرام

وأما بعد نقطة تأثير المحصلة المذكورة عن قطاع التثبيت فيساوى ل/٣ أعني يساوى ١٫٠ متر

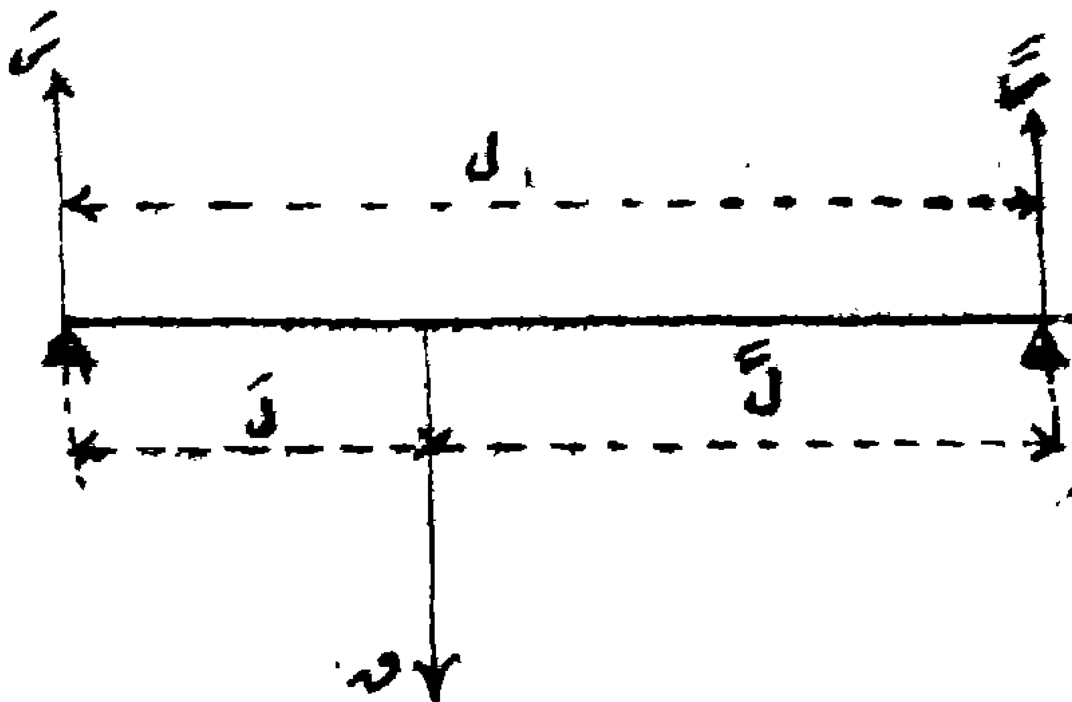
وأما مقدار الحمل القاطع الأعظم اى الحمل القاطع بالنسبة لقطاع التثبيت فانه يتعين من المعادلة

ع = ك / ٢ل (ل ـ س)٢

بفرض ان س = ٠ وعليه يكون

ع = ١/٢ ك ل = ه = ٢٧٢٢٫٢٢٥ كيلوجرام

(مسألة ٢٦) — عتب من الخشب قطاعه مربع مرتكز افقيا على نقطتين طوله ١٠٫٠ متر ويحمل حملا قدره ١٥٠٠٫٠ كيلوجرام متباعد عن احد الطرفين ببعد قدره ٣٫٠ متر والمطلوب معرفة مقدار ضلع القطاع من بعد معلومية ان معامل المقاومة يساوى ٨٠٫٠ كيلوجرام بالنسبة للسنتيمتر المربع ثم تعيين مقدار الحمل القاطع وتحقيق القطاع المذكور بالحمل القاطع أيضا



الجواب — نضع ع = ق ل٠ / ل ه

واذا وضع في هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها يحدث

ع = ٣×٧ / ١٠ × ١٥٠٠ = ٢٫١ × ١٥٠٠ = ٣١٥٠٫٠

وحيث ان ٢ م ك / ه = ع = ٣١٥٠ فيكون

$٢ × ٨٠٠٠٠٠ × \frac{١}{١٢} هـ^{٣} = ٣١٥٠$ ومنها

$هـ = \sqrt[٣]{٠ر٠٢٣٦٢٥} = ٠ر٢٨٦٩٤$ متر

أعنى ان ضلع القطاع يساوى ٢٩ سنتمتر

واما مقدار الحمل القاطع فانه يتعين بمقدار اكبر ردى الفعلين اى انه يساوى $\frac{٧ × ١٥٠٠}{١٠} = ١٠٥٠$ كيلوجرام

وحيث ان $م ف = ٨٠٠٠٠٠ × \overline{٠ر٢٩}^{٢} = ٦٧٢٨٠ر٠$ كيلوجرام وكان ٦٧٢٨٠ > ١٠٥٠ فيكون قطاع العتب محققا للحمل القاطع

(مسألة ٢٧) — المطلوب حساب قطاع العتب السابق فى (مسألة ٢٦) وتعيين الحمل القاطع وسهم الانحناء بفرض ان الحمل المذكور واقع فى وسطه

الجواب — نضع $ع = \frac{١}{٤} ط ل$

واذا وضع فى هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها يحدث

$ع = \frac{١}{٤} × ١٥٠٠ × ١٠ = ٢٧٥٠$

وحينئذ يكون $\frac{٢ م ك}{هـ} = ٢٧٥٠$ أو

$٢ × ٨٠٠٠٠٠ × \frac{١}{١٢} هـ^{٣} = ٢٧٥٠$ ومنها يحدث

$هـ = \sqrt[٣]{٠ر٠٢٠٦٢٥} = ٠ر٢٧٤١١$ متر

وأما الحمل القاطع فأنه يساوى ٧٥٠ كيلوجرام

وأما سهم انحناء وسط العتب فأنه يتعين من القانون

$ف = \frac{ط ل^{٣}}{٤٨ و ك} = \frac{١}{٦} × \frac{م ل^{٢}}{و هـ}$

الذى فيه و = ٩ × ١٠^٨ بالنسبة للمتر المربع وحينئذ يكون

ف = ٠ر٠٤٩ متر

(مسألة ٢٨) — المطلوب حساب قطاع العتب المذكور فى (مسألة ٢٧) وتعيين الحمل القاطع وسهم الانحناء بفرض ان الحمل المذكور موزع على طول العتب المفروض بانتظام

الجواب — نضع $ع = \frac{١}{٨} ق ل^{٢}$

واذا وضع فى هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها يحدث

$ع = ١٨٧٥$ وحينئذ يكون

$\frac{٢ م ك}{هـ} = ١٨٧٥$ أو

$٢ × ٨٠٠٠٠٠ × \frac{١}{١٢} هـ^{٣} = ١٨٧٥$ ومنها يحدث

$هـ = \sqrt[٣]{٠ر٠١٤٠٦٢} = ٠ر٢٤١٢٨$ متر

وأما الحمل القاطع فأنه يساوى $\frac{١}{٢} ق ل = ٧٥٠$ كيلوجرام

وأما سهم الانحناء وسط العتب فأنه يتعين من القانون

$ف = \frac{٥}{٢٤} ×$

$$ف = \frac{٥}{٢٤} \times \frac{ق}{و\,ت}\left(\frac{ل}{٢}\right)^{٤} = \frac{٥}{٢٤} \times \frac{م\,ل^{٤}}{و\,هـ} = ٠٫٠٠٧٧ \text{ متر}$$

(مسألة ٢٩) – المطلوب عتب من الحديد آت قطاعه مستطيل ارتفاعه يساوي ٠٫٢ متر مرتكز أفقيا على نقطتين وطوله ١٢٫٠٠ متر ويحمل ثلاثة أحمال الحمل الأول ق = ٦٠٠ كيلوجرام واقع في نقطة ا المتباعدة عن آ ببعد يساوي ٤٫٠ متر والثاني ع = ٨٠٠ كيلوجرام واقع في نقطة ب المتباعدة عن آ ببعد يساوي ٩٫٠٠ متر والثالث ك = ٩٠٠ كيلوجرام واقع في نقطة ح المتباعدة عن آ ببعد يساوي ١٠ متر والمطلوب تعيين مقدار البعد الافقي للقطاع المذكور من بعد ملاحظة ان معامل المقاومة يساوي ٦ كيلوجرام بالنسبة للمليمتر المربع

الجواب – يقال حيث ان عزم الانثناء الأعظم يوجد في احدى النقط الثلاث ا، ب، ح فيبحث عن عزم الانثناء في تلك النقط ويؤخذ اكبرها حينئذ اذا رمز لعزم الانثناء في النقط المذكورة على التناظر بالرموز $ع_١$، $ع_٢$، $ع_٣$ يكون

$$ع_١ = اء + اهـ + او \quad ، \quad ع_٢ = ب ط + ب ى + ب ص \quad ، \quad ع_٣ = ح ن + ح ف + ح م$$

واذا رمزنا بالرموز $ر_١$، $ق_١$، $ع_١$، $ع_٢$، $ك_١$، $ك_٢$ لردود افعال نقطتي الارتكاز آ، ت بالنسبة للاحمال ق، ع، ك على التناظر يكون

$$ر_١ = ق_١ + ع_١ + ك_١ \quad ، \quad ر_٢ = ق_٢ + ع_٢ + ك_٢$$

وحيث ان $ق_١ = \frac{٨ \times ٦٠٠}{١٢} = ٤٠٠$ ، $ع_١ = \frac{٣ \times ٨٠٠}{١٢} = ٢٠٠$ ، $ك_١ = \frac{٢ \times ٩٠٠}{١٢} = ١٥٠$ فيكون

$ر_١ = ٤٠٠ + ٢٠٠ + ١٥٠ = ٧٥٠$ كيلوجرام وبالمثل يكون

$ر_٢ = ٢٠٠ + ٦٠٠ + ٧٥٠ = ١٥٥٠$ كيلوجرام وحيث ان

$اء = ١٥٠ \times ٤ = ٦٠٠$ ، $اهـ = ٢٠٠ \times ٤ = ٨٠٠$ ، $او = ٤٠٠ \times ٤ = ١٦٠٠$ فيكون

$ع_١ = ٦٠٠ + ٨٠٠ + ١٦٠٠ = ٣٠٠٠$ وبالمثل يكون

$ع_٢ = ١٣٥٠ + ٦٠٠ + ١٨٠٠ = ٣٧٥٠$ ،

$ع_٣ = ٤٠٠ + ١٢٠٠ + ١٥٠٠ = ٣١٠٠$

وحيث ان اكبر الثلاث عزم المذكورة هو $ع_٢ = ٣٧٥٠$ الواقع في نقطة ب فيحسب بموجبه البعد الأفقي

للقطاع من معادلة

$$ع = \frac{٢ م ك}{هـ}$$

واذا وضع فى هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها يحدث

$$٣٧٥٠ = \frac{٢ \times ٦٠٠٠٠٠٠ \times \frac{١}{١٢} ب \times \overline{٠ر٢٠}^{٢}}{٠ر٢٠}$$

التى فيها ب رمز للبعد الافقى للقطاع ومن هذه المعادلة يكون

$$٣٧٥٠ = ١٠٠٠٠٠٠ \times \overline{٠ر٢٠}^{٢} \times ب = ٤٠٠٠٠ \times ب$$ ومنها يحدث

$$ب = \frac{٣٧٥٠}{٤٠٠٠٠} = ٠ر٠٩٣٧٥ \text{ متر}$$

تنبيــــه — يمكن تعيين عزم الانثناء $ع_١$ ، $ع_٢$ ، $ع_٣$ مباشرة من المعادلات الآتيــة

$$ع_١ = ر_١ \times ٤ = ٧٥٠ \times ٤ = ٣٠٠٠ ،$$

$$ع_٢ = ر_١ \times ٩ - ٥ \times ٥ = ٧٥٠ \times ٩ - ٦٠٠ \times ٥ = ٦٧٥٠ - ٣٠٠٠ = ٣٧٥٠ ،$$

$$ع_٣ = ر_١ \times ١٠ - ٥ \times ٦ - ٤ \times ١ = ٧٥٠٠ - ٣٦٠٠ - ٨٠٠ = ٣١٠٠$$

(مسألة ٢٠) المطلوب عتب من الحديد ا ب قطاعه مستطيلى ارتفاعه ٠ر٢٤ متر مرتكز افقيا على نقطتى ا ، ب وطوله ١٦ متر ويحمل على جزء منه طوله ٦ر متر بأحمال موزعة بانتظام قدر كل منها ٥٠٠ كيلوجرام بالنسبة للمتر الطولى ومبدأ الجزء المذكور متباعد عن نقطة الارتكاز ا بعد مترين والمطلوب تعيين مقدار البعد الافقى للقطاع المذكور من بعد ملاحظة أن معامل المقاومة يساوى ٨ كيلوجرام بالنسبة للمليمتر المربع ثم تحقيق ذلك بالحمل القاطع وتعيين وضع القطاع الذى فيه عزم الانثناء اعظم ما يمكن ثم الموضع الذى يكون فيه الحمل القاطع معدوما

الجواب نضع $ع = \frac{ب ق}{٢}(٢ أ + ل - \frac{أ ل}{ل} أ)^{٢}$

واذا وضع فى هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها واجرى الحساب يحدث

$$ع = ٩٣٧٨ر٩$$

وحيث انه يلزم ان يكون ع مساويا الى $\frac{٢ م ك}{هـ}$ فيحدث

$ع = \frac{٢ م ك}{هـ}$ أو $ع = \frac{١}{٦} م ب هـ^{٢}$ الذى فيه ب رمز للبعد الأفقى المطلوب ايجاده

واذا وضع فى هذا القانون الأخير عوضا عن الرموز مقاديرها واجرى الحساب يحدث

$$ب = ٠ر١٢٢ \text{ متر}$$

ولأجل

ولأجل تحقيق القطاع بالحمل القاطع يقال حيث أن الحمل القاطع الأعظم في هذه الحالة هو

ع = ر = ٥٫٠٦٢ كيلوجرام

وكانت مساحة قطاع العتب المذكور تساوى ٠٫٢٤ متر × ٠٫١٢٢ متر = ٠٫٠٢٩٢٨ متر مربع وحيث ان مقدار ر أصغر من حاصل ضرب القطاع المذكور في معامل المقاومة فيكون ذلك القطاع حينئذ محققا للحمل القاطع المقابل

ولتعيين موضع القطاع لعزم الانثناء الأعظم السابق ايجاده وهو المبين في الشكل بالرأسى ط ص أى لتعيين البعد ا ط نضع القانون

ع = ... (٢ ا + ٢ ل - ٤ ل/ل ا - ٧)

الذى نجعل فيه ع = ٩٫٩٢٧٨ ثم نضع فيه عوضا عن باقى الرموز مقاديرها ونستخرج مقدار س فيحدث

س = ١٢٫٦ متر بالابتداء من نقطة ٢

وأما الخط ٢م م ل ٤ ب المرسوم في الشكل فهو الخط البيانى للاحمال القاطعة

ولأجل ايجاد النقطة من العتب التى يكون فيها الحمل القاطع معدوما اى نقطة تلاقى الخط البيانى للأحمال القاطعة بمحور العتب نجعل ع = ٠ فى المعادلة

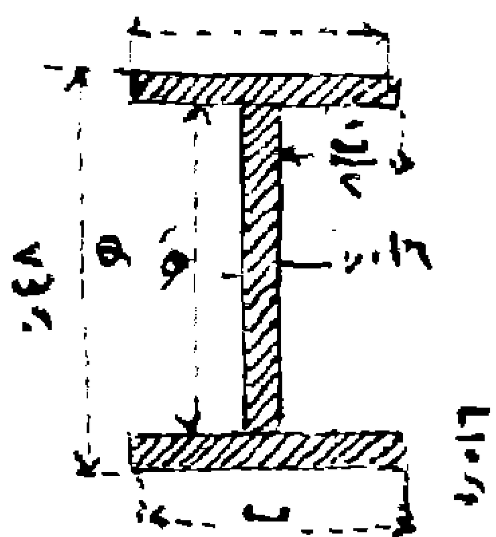
ع = ر - ق [سه - (ل - ا)] فيكون

ر = ق [سه - (ل - ا)]

واذا وضع فى هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها واستخرج مقدار س يكون

س = ٧٫١٢٥ متر بالابتداء من نقطة الارتكاز ٢ اعنى ان ا ى = ٧٫١٢٥ متر

(مسألة ٣١) المطلوب حل المسألة السابقة باعتبار ان قطاع العتب على شكل ضعف حرف التاء الافرنكية وارتفاعه ٠٫٤٨ متر وسمك كل من الرأسين والبدن يساوى ٠٫٠١٦ متر



وان المجهول فيه هو عرض الرأس فقط المرموز له بالرمز ب

الجواب - نضع ع = ٢م ب/هـ

وحيث ان ب = ١/١٢ [ب هـ^٣ - ت هـ^٣] فى هذه الحالة فيكون

ع = ١/٦ × م [ب هـ^٣ - ت هـ^٣] / هـ

وحيث ان ب هـ^٣ - ت هـ^٣ = ب (هـ^٣ - هـ^٣) + ٠٫٠١٦ هـ^٣ بناء على معاليم القطاع فيكون

ع = ١/٦ × ب (هـ^٣ - هـ^٣) م + ٠٫٠١٦ هـ^٣ م / هـ

واذا وضع فى هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها واجرى الحساب يكون

ب = ٠٫٠٩٤ متر

وحيث ان مساحة القطاع تساوى ٠٫٠١٠١٧٦ متر مربع فبضرب هذه المساحة فى ٨٠٠٠٠٠ يكون ٨١٤٠٫٨ كيلوجرام وهذا المقدار اكبر من ٥٫٠٦٢ الذى هو اكبر مقادير الحمل القاطع وعليه فيكون القطاع محققا للحمل القاطع

(تنبيه) - بمقارنة مساحة هذا القطاع بالقطاع المستنتج من المسألة السابقة وهو ٢٩٢٨ر. متر مربع يرى ان قطاع العتب المستطيلي نحو ثلاثة امثال قطاع العتب الذى على شكل ضعف حرف التاء ومن ذلك تفهم مزية استعمال الأعتاب التى على شكل ضعف حرف التاء

(مسألة ٣٢) - المعلوم عتب من الخشب قطاعه مربع طوله ٨ر متر مرتكز افقيا على نقطتى ارتكاز ومتحرك عليه حمل قدره ١٠٠٠ر كيلوجرام والمطلوب تعيين قطاع العتب المذكور من بعد ملاحظة ان معامل المقاومة يساوى ٨٠ر كيلوجرام بالنسبة للسنتيمتر المربع ثم تحقيق القطاع المذكور بالحمل القاطع

الجواب - يقال حيث انه يلزم حساب قطاع العتب المذكور بناء على عزم الانثناء الأعظم وكان عزم الانثناء الأعظم المذكور مقابلا لوضع المتحرك فى وسط العتب فحينئذ يكون مقدار ذلك العزم هو

$$\text{ع} = \frac{1}{4}\,\text{ق ل} \qquad \text{وعليه يكون}$$

$$\frac{1}{4}\,\text{ق ل} = \frac{2\,\text{م ى}}{\text{ه}} = \frac{1}{6}\,\text{م}\,\text{ه}^{3} \qquad \text{ومنه يحدث}$$

$$\frac{3}{2} \times \frac{\text{ق ل}}{\text{م}} = \text{ه}^{3} \quad \text{أو} \quad \text{ه} = \sqrt[3]{\frac{3\,\text{ق ل}}{2\,\text{م}}}$$

واذا وضع فى هذه المعادلة الأخيرة عوضا عن الرموز مقاديرها وأجرى الحساب يكون

$$\text{ه} = \text{٢٤٧ر. متر} \qquad \text{وهو مقدار ضلع القطاع}$$

وحيث ان اعظم مقدار للحمل القاطع يساوى ١٠٠٠ر كيلوجرام

وكانت مساحة قطاع العتب المفروض تساوى ٦١٠ سنتيمتر مربع فيرى ان

$$\text{٦١٠} \times \text{٨٠} > \text{١٠٠٠}$$

وعليه فيكون القطاع محققا للحمل القاطع

(مسألة ٣٣) - المطلوب حساب قطاع العتب المذكور فى المسألة السابقة بفرض ان الحمل المتحرك منقسم الى قسمين متساويين مقدار كل منهما ٥٠٠ كيلوجرام متباعدين دائما عن بعضهما بمقدار متر واحد

الجواب - نضع $\text{ع} = \frac{2\,\text{ق}}{\text{ل}}\left(\frac{\text{ل} - \text{أ}}{2}\right)^{2}$

واذا وضع فى هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها يحدث

$$\text{ع} = \frac{2 \times \text{٥٠٠}}{\text{٨}}\left(\frac{\text{٨} - \text{٥ر٠}}{2}\right)^{2} = \text{١٧٥٧ر٥}$$

وحيث علم عزم الانثناء الاعظم ع فيمكن تعيين ابعاد القطاع من المعادلة

$$\text{ع} = \frac{2\,\text{م ى}}{\text{ه}} \quad \text{أو}$$

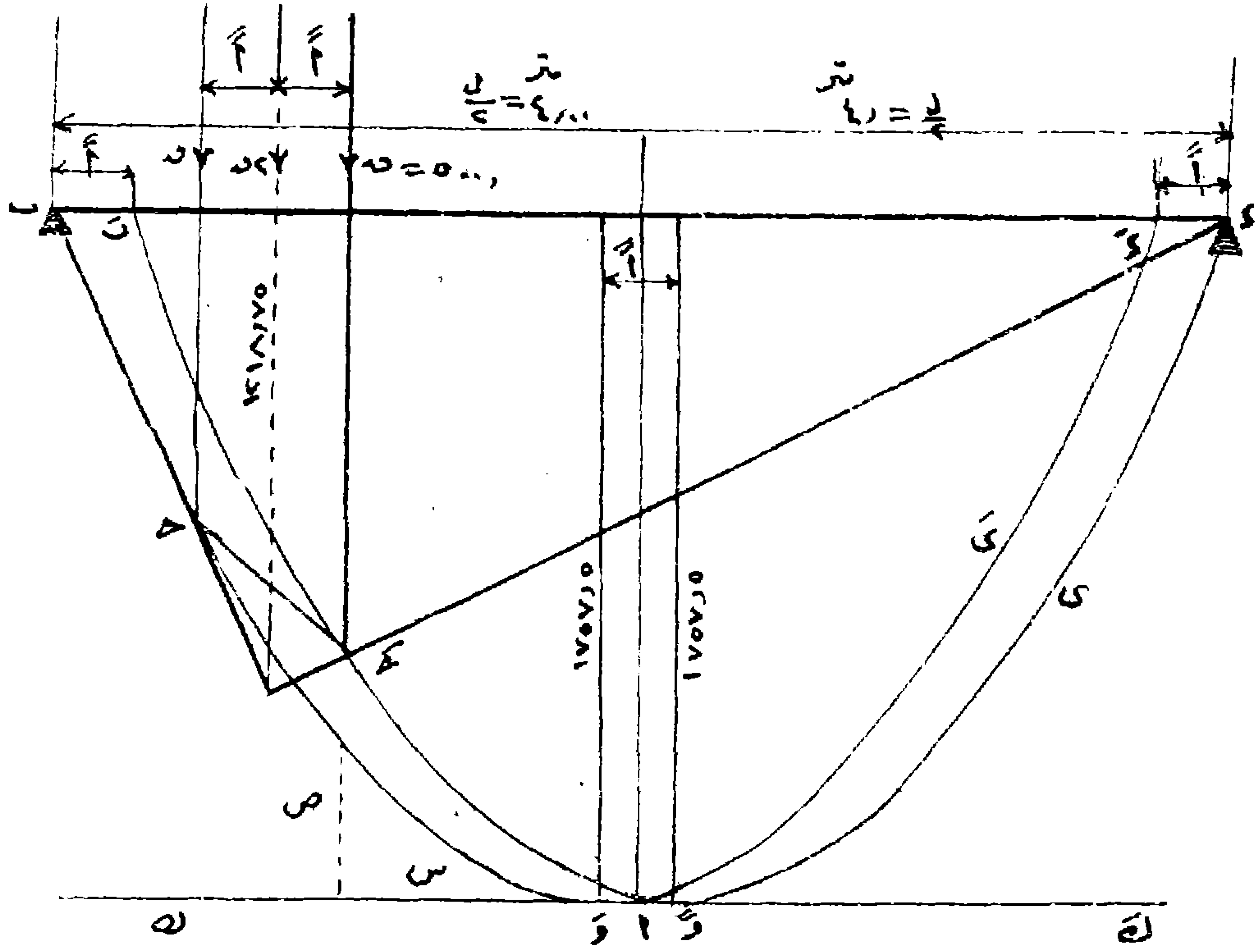
$$\text{ع} = \frac{1}{6}\,\text{م}\,\text{ه}^{3} \qquad \text{ومنه يحدث}$$

$$\text{ه} = \sqrt[3]{\frac{6\,\text{ع}}{\text{م}}}$$

واذا وضع فى هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها يكون

$$\text{ه} = \text{٢٢٦ر. متر}$$

ولا يخفى انه فى هذه المسألة يكون المنحنى البيانى لعزم الانثناء هو المنحنى ب ه دَ ٢ دً ى د الموضح فى الشكل



فى الشكل المتكون من جزئى كل من المنحنيين المكافئين ب ح و ا ت ى ا ح و ى اللذين معادلة كل منهما بالنسبة للماس ك و ك المار بالرأسين و ا و هـ

$ص = \frac{٢ هـ س^٢}{ل}$

(مسألة ٤٤) ـ المطلوب حساب قطاع العتب السابق فى حالة ما يكون الحملان السابقان متحركين بالتماثل لنقطتى الارتكاز أعنى يكونان دائما اثناء تحركهما على بعدين متساويين من نقطتى الارتكاز الخارجين منهما

الجواب ـ حيث ان عزم الانثناء الأعظم يقابل مجيئ المتحركين المذكورين فى ان واحد فى وسط العتب فيكون عزم الانثناء المذكور مبينا بالمعادلة

$ع = \frac{١}{٤} × ٢ هـ ل$

وهذا يرجع الى مقدار عزم الانثناء السابق ايجاده فى (مسألة ٢٢) حيث ان ٢ هـ هنا عبارة عن مقدار هـ هناك ويكون حينئذ مقدار ضلع القطاع مساويا الى

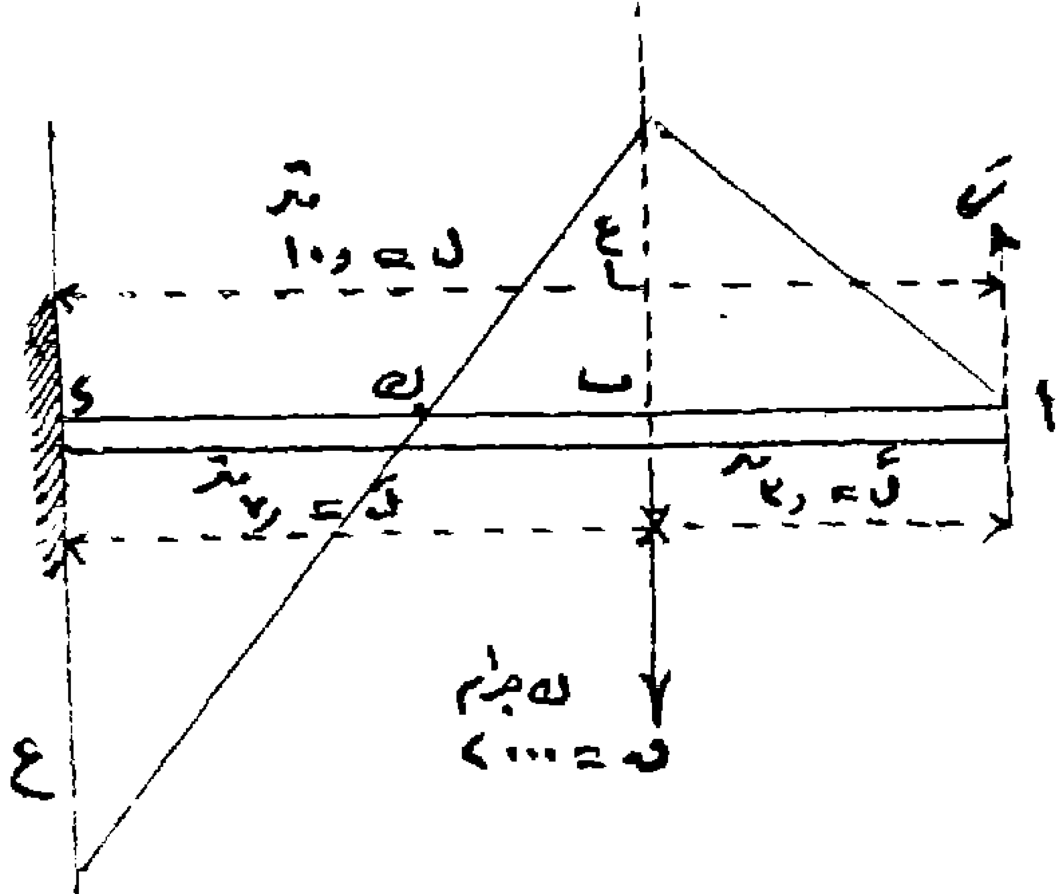
م = ٠,٤٧٢ متر كما تقدم

(مسألة ٤٥) ـ عتب من الخشب قطاعه مربع طوله ١٠ متر مثبت من احد الطرفين ومرتكز من الطرف الآخر على نقطة ارتكاز موجودة فى استواء واحد مع نقطة التثبيت ويحمل حمل قدره ٢٠٠٠ كيلوجرام وواقع فى نقطة متباعدة عن نقطة الارتكاز بمقدار ٤ متر والمطلوب

أولا معرفة مقدار رد فعل نقطة الارتكاز ؟

وثانيا معرفة عزمى الانثناء فى قطاعى التثبيت وفى موضع الحمل اعنى فى قطاعى ٤ و ب

وثالثا حساب ضلع القطاع بموجب أكبر العزمين السابقين من بعد معلومية ان معامل المقاومة يساوى ٨٠ كيلوجرام بالنسبة للسنتيمتر المربع



ورابعا تعيين موضع نقطة الانقلاب

وخامسا تعيين مقدار سهم الانحناء فى موضع الحمل من بعد معلومية أن معامل المرونة يساوى ١٠×١٠^{٨} بالنسبة للمتر المربع

وسادسا تعيين مقدار سهم الانحناء الاعظم وموضعه

الجواب — لحساب رد الفعل رَ نضع المعادلة

$$رَ = \frac{١}{٢} و \frac{لَ^{٢}(٣ل + ٢لَ)}{ل^{٣}} \quad \ldots\ldots\ldots (١)$$

التى منها من بعد ان نضع عوضا عن الرموز مقاديرها واجراء الحساب يكون

$$رَ = ١١٢٧ \text{ كيلوجرام}$$

ولحساب عزم الانثناء فى قطاع التثبيت نضع المعادلة

$$ع = و لَ - رَ ل \quad \ldots\ldots (٢)$$

التى منها من بعد ان نضع عوضا عن الرموز مقاديرها واجراء الحساب يكون

$$ع = ٢٧٤٠٫$$

ولحساب عزم الانثناء فى موضع الحمل نضع المعادلة

$$ع = - رَ لً \quad \ldots\ldots (٣)$$

التى منها من بعد ان نضع عوضا عن الرموز مقاديرها واجراء الحساب يكون

$$ع = - ٤٤٨١$$

وحيث ان اكبر العزمين فى هذه الحالة هو العزم فى موضع الحمل وهو ع فيحسب ضلع القطاع بموجب العزم المذكور ولذلك نضع

$$ع = \frac{٢ م ك}{ه} \quad \ldots\ldots (٤)$$

التى منها من بعد ان نضع عوضا عن الرموز مقاديرها واجراء الحساب يكون

$$ه = ٠٫٢٩٤ \text{ متر}$$

ولاجل تعيين موضع نقطة الانقلاب نضع المعادلة

$$ع_{س} = و (لَ - س) - رَ (ل - س) \quad \ldots\ldots (٥)$$

ونجعل فيها $ع_{س} = ٠$ فيحدث

$$و (لَ - س) = رَ (ل - س)$$ ومنها يكون

$$س = \frac{و لَ - رَ ل}{و - رَ} \quad \ldots\ldots (٦)$$

التى منها من بعد ان نضع عوضا عن الرموز مقاديرها واجراء الحساب يكون

$$س = ٤٫١٢٧ \text{ متر}$$

أعنى ان الخط البيانى لعزم الانثناء يقطع محور العتب فى نقطة متباعدة عن قطاع التثبيت بمقدار ٤٫١٢٧ متر

ولأجل

ولأجل تعيين مقدار سهم الانحناء فى موضع الحمل نضع المعادلتين

ب بَ = ١/٦ رَ لَ (٢ ل ـ س) ⎫
جـ جَ = ١/٦ ه لَ^٢ (٢ س ـ لَ) ⎭ ..... (٧)

وبجعل فيهما س = لَ تؤولان الى

ب بَ = ١/٦ رَ لَ^٢ (٢ ل ـ لَ)

جـ جَ = ١/٦ ه لَ^٢ (٢ لَ ـ لَ)

وحينئذ اذا وضع فى هاتين المعادلتين عوضا عن الرموز مقاديرها وأجرى الحساب يكون

ب بَ = ١٦٫١١٦٨٨

جـ جَ = ٦٦٫٢٢٨٦٦٦

واذا وضع هذان المقداران فى معادلة سهم الانحنا التى هى

ف = م (جـ جَ ـ ب بَ) .... (٨) يحدث

ف = م (٦٦٫٢٢٨٦٦٦ ـ ١٦٫١١٦٨٨)

أو ف = م × ٥٠٫١٦٩٧٨

وحيث أن م = ٢ / (د و هـ) = ٢ / (ح/٤ × و هـ) = ١ / (ح و)

فاذا وضع فى هذه المعادلة الأخيرة عوضا عن ح ، و مقدارها وأجرى الحساب يكون

م = ١ / ٥١٫٦٢٢٥٩٨ وعلى هذا يكون

ف = ٥٠٫١٦٩٧٨ / ٥١٫٦٢٢٥٩٨ = ٠٫٢٧ متر

ولاجل حساب سهم الانحناء الأعظم نجعل فى المعادلة

ى = م (جـ ـ ب) .... (٩)

ى = ٠ فتؤول الى

٠ = م (جـ ـ ب) ومنها يحدث

جـ = ب

وحيث انه فى هذه الحالة جـ = ه (٢ لَ ـ س) س/٢ ..... (١٠) و

ب = ١/٢ [رَ ل + رَ (ل ـ س)] س = رَ (٢ ل ـ س) س/٢ فيكون

ه (٢ لَ ـ س) = رَ (٢ ل ـ س) ومنها يحدث

س = ٢ (ه لَ ـ رَ ل) / (ه ـ رَ) ..... (١١)

واذا وضع فى هذه المعادلة عوضا عن الرموز مقاديرها واجرى الحساب يكون

س = ٦٫٢٥٤ متر وهو بعد موضع سهم الانحناء الاعظم عن قطاع التثبيت

وحيث ان مقدار حَ فى هذه الحالة هو

حَ٢ = (٢لَ - س) س / ٢(٢لَ - س) .... (١٢) فيكون

ح٢ حَ٢ = ص/٦ (٢لَ - س) سْ ..... (١٣)

وحيث ان مقدار ب ب٢ هو المقدار الناتج من المعادلة الأولى من معادلتى (٧) التى هى

ب ب٢ = ١/٦ رَ (٢ل - س) سْ

التى يكون فيها مقدار س عين مقداره فى معادلة (١٣) فحينئذ اذا وضع عوضا عن الرموز مقاديرها فى المعادلة الاخيرة وفى معادلة (١٣) واجرى الحساب يحدث

ح٢ حَ٢ = ٦٨,١٩٢٢٤٨ ،

ب ب٢ = ٩٤,١٧٤٤٤١

واذا وضع مقدار ح٢ حَ٢ ، ب ب٢ فى معادلة (٨) واجرى الحساب يكون

ف = ٠,٠٢٩ متر وهو مقدار سهم الانحناء الأعظم

(مسألة ٢٦) ـ المطلوب حل المسألة السابقة بفرض ان الحمل واقع فى وسط العتب

الجواب ـ مقدار رد الفعل رَ فى هذه الحالة بناء على معادلة (١) يكون

رَ = ٥/١٦ ص = ٥×٢٠٠٠/١٦ = ١٠٠٠٠/١٦ = ٦٢٥,٠ كيلوجرام

أما عزم الانثناء فى قطاع التثبيت بناء على معادلة (٢) فيكون

ع = ١/٢ ص ل - رَ ل = ل (ص/٢ - رَ) = ٣٧٥٠,٠

وأما عزم الانثناء فى موضع الحمل بناء على معادلة (٣) فيكون

ع = - رَ × ل/٢ = - ٣١٢٥,٠

وفى هذه الحالة يرى ان عزم الانثناء فى قطاع التثبيت أكبر من عزم الانثناء فى موضع الحمل وحينئذ يحسب ضلع القطاع من معادلة

ع = ٢م ك / ه

التى منها بعد ان نضع عوضا عن الرموز مقاديرها واجراء الحساب يكون

ه = ٠,٢٠٤ متر

وأما موضع نقطة الانقلاب بناء على معادلة (٦) فيكون

س = ٢,٧٢٧ متر

وأما تعيين سهم الانحناء فى موضع الحمل فانه يجعل ابتداء فى معادلتى (٧) أن

س = ١/٢ ل ، لَ = ١/٢ ل وحينئذ يكون

ب ب٢ = ١/٢٤ رَ لْ (٢ل - ل/٢) = ٥/٤٨ رَ ل٣ ،

ح٢ حَ٢ = ١/٢٤ ص لْ (٢ ل/٢ - ل/٢) = ١/٢٤ ص ل٣

وبطرح

وبطرح المعادلة الأولى من الثانية طرفا بطرف يحدث

$$ج ج - ب ب = \frac{ل^٤}{٤٢} (ه - ٥ر٠ ر) = ١٦ر١٨٢٢٩$$

وحينئذ معادلة سهم الانحناء تؤول الى

$$ف = م \times ١٦ر١٨٢٢٩$$

وحيث ان $م = \frac{٢}{ذوهو} = \frac{١}{ع و}$ فيكون

$$م = \frac{١}{٧١١٧٢٦ر٤٢}$$ وعليه يكون

$$ف = \frac{١٦ر١٨٢٢٩}{٧١١٧٢٦ر٤٢} = ٠٠٥٦ر٠ \text{ متر}$$

ولتعيين سهم الانحناء الاعظم نأخذ معادلة

$$ج = ب$$

ونبحث عن مقداري ج ، ب بدلالة بعد موضع سهم الانحناء س مع ملاحظة ان سهم الانحناء الاعظم المذكور يقع في هذه الحالة بين الحمل ونقطة الارتكاز حيث ان بعد الحمل عن نقطة الانقلاب اصغر من بعده عن نقطة الارتكاز وحينئذ يكون

$$ج = \frac{١}{٨} ه ل^٤ \quad ، \quad ب = \frac{ك}{٢} (٢ ل - س) س$$

وعليه يكون $\frac{١}{٨} ه ل^٤ = \frac{ك}{٢} (٢ل - س) س$ ومنها يحدث

$$س = ل \left(١ - \sqrt{\frac{٤ ك - ه}{٤ ك}}\right) = ٥٥ر٥ \text{ متر}$$

وهو بعد موضع سهم الانحناء الاعظم عن قطاع التثبيت ثم نضع بعد ذلك

$$ج ج = \frac{١}{٤٨} ه ل^٤ (٦ س - ل) ،$$

$$ب ب = \frac{٥}{٩٦} ه ك (٢ ل - س)$$

ونضع في هاتين المعادلتين عوضا عن س مقداره وهو ٥٥ر٥ متر وعوضا عن ه ، ل مقدارها ونجرى الحساب فيكون

$$ج ج - ب ب = ٤٠ر١٨٦٥٩$$

وعلى هذا يكون

$$ف = م \times ٤٠ر١٨٦٥٩ \quad \text{أو}$$

$$ف = \frac{٤٠ر١٨٦٥٩}{٧١١٧٢٦ر٤٢} = ٠٢٦٢ر٠ \text{ متر}$$

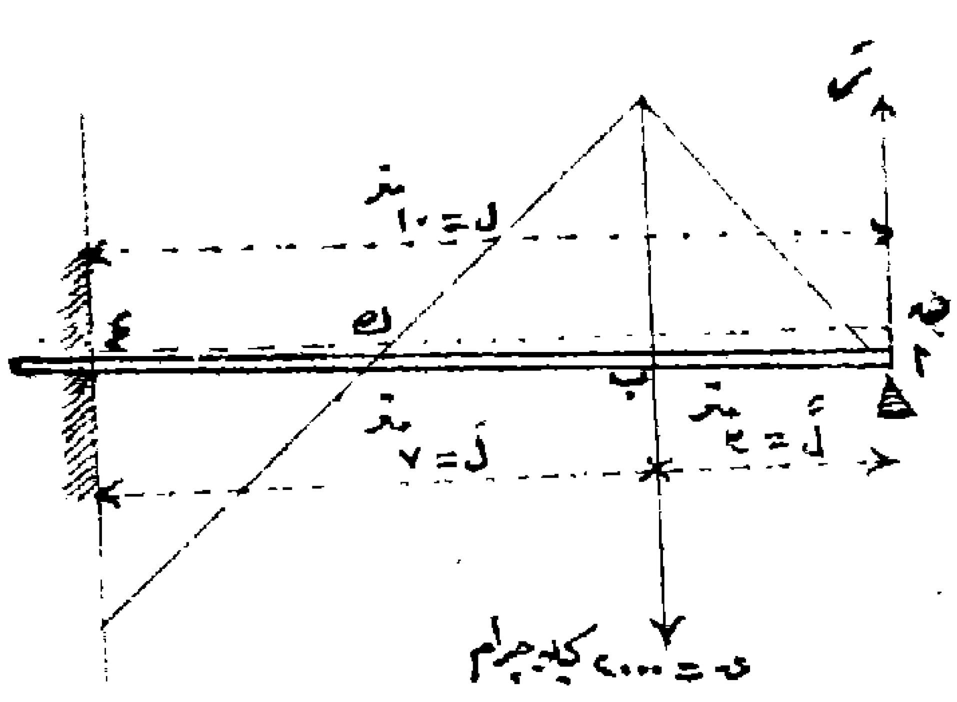
(مسألة ٤٧) - المطلوب حل (مسألة ٤٦) بحيث يكون العتب ذا مقاومة كبيرة أعني ان يبحث عن مقدار انحطاط نقطة الارتكاز عن نقطة التثبيت الذي به يكون العزمان في موضع الحمل و في قطاع التثبيت متساويين ثم يحسب ضلع قطاع العتب المذكور ويعين أيضا موضع نقطة الانقلاب ثم يعين كذلك سهم الانحناء في موضع الحمل وسهم الانحناء الأعظم

الجواب - يحسب أولاً مقدار رد فعل نقطة الارتكاز في هذه الحالة من معادلة

رَ ل - ه لَ = - رَ لً   ومنها يحدث

رَ (ل + لً) = ه لَ   أو

رَ = ه لَ / (ل + لً) ...... (١)



ومن هذه المعادلة من بعد ان نضع عوضاً عن الرموز مقاديرها واجراء الحساب يكون

رَ = ٩٢ر١٠٧٦ كيلوجرام

وبوضع هذا المقدار في المعادلة العمومية لسهم الانحناء بالنسبة لنقطة ١ من بعد ملاحظة أن

ج جَ = ½ ه لَ² (⅔ لَ + لً) = ⅙ ه لَ² (٢ ل - لَ) ،

ب بَ = ½ رَ ل² × ⅔ ل = ⅓ رَ ل³

واجراء الحساب يكون

ف = م × ٢٢ر٢١٦٦٩ .... (١)

وحيث انه لا يمكن تعيين مقدار ف ما لم يتعين قطاع العتب فحينئذ يلزم البحث أولاً عن عزم الانثناء الأعظم الذي بموجبه يحسب القطاع المذكور ولأجل ذلك نضع معادلة

ع = ه لَ - رَ ل = رَ لً

التي فيها عزما الانثناء في قطاع التثبيت وفي موضع الحمل بناء على مقدار رَ السابق ايجاده يكونان متساويين وحينئذ يكون

ع = ٨ر٢٢٢٠

وحيث ان   ع = ٢ م ك / هـ   فيكون

هـ = ٨٩ر٠ متر   وهو مقدار ضلع العتب في هذه الحالة

وحيث علم هـ فيكون   م = ١ / ٥٨٤٢١٥ر٠٠

وحينئذ يكون

ف = ٢٢ر١٦٦٩٢ / ٥٨٤٢١٥ر٠٠ = ٨٦ر٠ر٠ متر

أعني انه لازدياد مقاومة العتب يلزم ان تنخفض نقطة الارتكاز عن نقطة التثبيت بمقدار ٩ر٠ مليمتر تقريباً

ولتعيين موضع نقطة الانقلاب نجعل في معادلة

عَ = ه (لَ - س) - رَ (ل - س)   أن

عَ = ٠   فيكون

س =

$$س = \frac{ه ل^٢ - ر ل}{ه - ر} = ٠.٥٠٤ \text{ متر}$$

أعنى ان نقطة الانقلاب توجد فى هذه الحالة فى منتصف المسافة بين نقطة تأثير الحمل ونقطة التثبيت ويمكن تعيين النقطة المذكورة مباشرة بدون حساب المعادلة السابقة حيث ان الخط البيانى لعزم الانثناء بين نقطتى و، ب هو خط مستقيم قاطع للعتب فيما بين النقطتين المذكورتين وواصل بين نهايتى عزمين متساويين مختلفى الاشارة

ولتعيين سهم الانحناء فى موضع الحمل نضع فى المعادلتين

$$ج ح = \frac{١}{٦} ه ل^٢ (٢ ل - ل)$$

$$ب ح = \frac{١}{٦} ر ل^٢ (٢ ل - ل)$$

عوضا عن الرموز مقاديرها ونجرى الحساب فيكون

$$ج ح = ٦٦.٦٦٦٨٢٢$$

$$ب ب = ١١.١٨٢٢٠$$

وبناء على هذين المقدارين يكون

$$ف = م \times ٥٥.٦٢٤٨٥ \quad \text{وعليه يكون}$$

$$ف = \frac{٥٥.٦٢٤٨٥}{٥٨٤٤١٥.٠٠} = ٠.٠٤٥ \text{ متر}$$

ولأجل تعيين سهم الانحناء الاعظم يلزم ابتداء تعيين موضعه من معادلة (١١) التى هى

$$س = \frac{٢ (ه ل^٢ - ر ل)}{ه - ر} = ٠.٠٠٧ \text{ متر}$$

وحيث انه ظهر من هذه المعادلة ان موضع سهم الانحناء الاعظم هو فى موضع الحمل فيكون مقدار سهم الانحناء فى موضع الحمل هو $ف = ٠.٠٤٥$ متر السابق ايجاده

(مسألة ٢٨) - المطلوب حل مسألة ٢٦) فى حالة ما يكون العتب ذا مقاومة كبيرة

الجواب - فى هذه الحالة $ر = \frac{١}{٣} ه$

اعنى ان $ر = ٦٦.٦٦٦$ كيلوجرام

وأما مقدار عزم الانثناء الاعظم فأنه يتعين من قانون

$$ع = \frac{١}{٣} ل (ه - ٢ر) = \frac{١}{٣} ل ر \quad \text{وعليه يكون}$$

$$ع = ٢٠.٢٢٢٢$$

وبناء على مقدار ع هذا يكون مقدار ضلع القطاع ه هو

$$ه = ٠.٢٩٢ \text{ متر}$$

وأما انحطاط نقطة الارتكاز عن نقطة التثبيت فأنه يتعين من المعادلة

$$ف = \frac{١}{١٤٤} م ه ل^٣ = م \times ١٢٨٨٨.٨٩$$

وحيث انه فى هذه الحالة $م = \frac{١}{ء ى} = \frac{١}{٦٠٥٨٤٥٠٠}$ فيكون

$$\text{ف} = \frac{١٢٨٨٨٫٨٩}{٦٠٥٨٢٥٫٠٠} = ٠٫٠٢٢ \ \text{متر}$$

وأما موضع نقطة الانقلاب بناء على معادلة (٦) فيكون

$$\text{س} = \frac{\text{ل}}{٤} = ٢٫٥ \ \text{متر}$$

وأما لتعيين سهم الانحناء في موضع الحمل فإنه يلزم ان يعين ابتداء بناء على معادلتي (٧) مقدارا $\text{ج}_٢\text{ج}'_٢$ ، $\text{ب}_٢\text{ب}'_٢$ من المعادلتين

$$\text{ج}_٢\text{ج}'_٢ = \frac{١}{٢٤}\text{ق ل}^٤ ، \quad \text{ب}_٢\text{ب}'_٢ = \frac{٥}{٤٨}\text{ر ل}^٤$$ ومنهما يحدث

$$\text{ج}_٢\text{ج}'_٢ - \text{ب}_٢\text{ب}'_٢ = \text{ق ل}^٤\left(\frac{١}{٢٤} - \frac{٥}{١٤٤}\right) = \text{ق ل}^٤\left(\frac{٦}{١٤٤} - \frac{٥}{١٤٤}\right)$$ أو

$$\text{ج}_٢\text{ج}'_٢ - \text{ب}_٢\text{ب}'_٢ = \frac{\text{ق ل}^٤}{١٤٤} = ١٢٨٨٨٫٨٩$$

وبناء على ذلك يكون

$$\text{ف} = \text{م}\left(\text{ج}_٢\text{ج}'_٢ - \text{ب}_٢\text{ب}'_٢\right) = ٠٫٠٢٢ \ \text{متر}$$

اعني انه في هذه الحالة مقدار سهم الانحناء في موضع الحمل هو عين مقدار انحطاط نقطة الارتكاز عن نقطة التثبيت

ولأجل تعيين سهم الانحناء الاعظم يجب اولا تعيين موضع سهم الانحناء المذكور من معادلة

$$\text{س} = \text{ل}\left(١ - \sqrt{\frac{٤\text{ر} - \text{ق}}{٤\text{ر}}}\right)$$

التي فيها مقدار ر في هذه الحالة هو $\frac{\text{ق}}{٢}$ وحينئذ يكون

$$\text{س} = \frac{\text{ل}}{٢}$$

اعني ان موضع سهم الانحناء الأعظم هو في موضع الحمل وعليه يكون مقداره هو المقدار السابق

(مسألة ٩٢) — عتب من الخشب قطاعه مربع طوله ١٠ر متر مثبت افقيا من احد الطرفين ومرتكز من الطرف الثاني على نقطة ارتكاز ويحمل حمل موزع بانتظام على طوله ومقدار الحمل الموزع بانتظام على المتر الطولي منه هو ٢٠٠ر كيلوجرام والمطلوب

اولا معرفة مقدار رد فعل نقطة الارتكاز

وثانيا معرفة مقدار عزم الانثناء في قطاع التثبيت ووضع المعادلة العمومية لعزم الانثناء

وثالثا معرفة مقدار اعظم عزم انثناء بالنسبة لباقي عزم الانثناء الواقعة على طول العتب المذكور وموضعه ايضا

ورابعا معرفة موضع نقطة الانقلاب

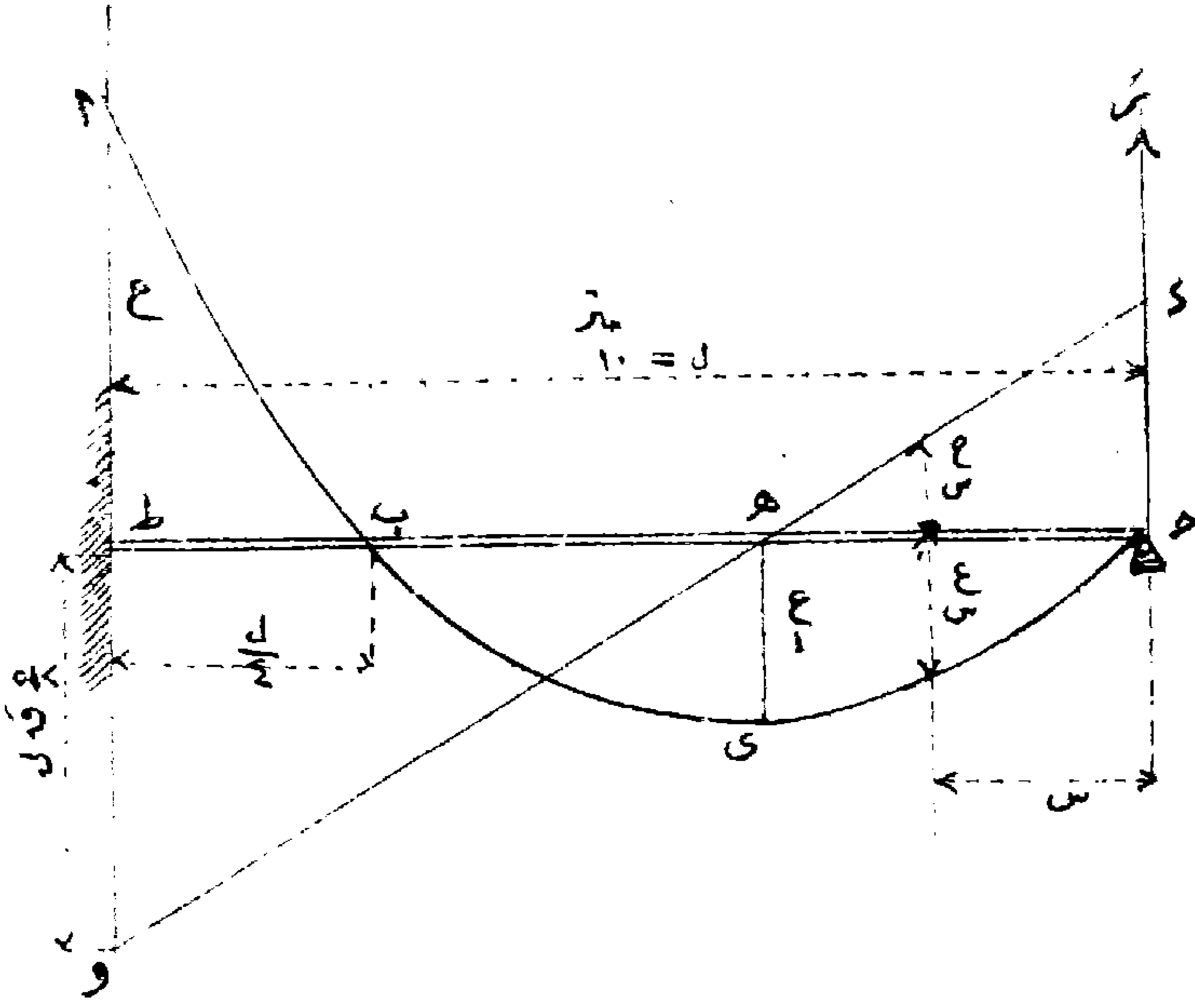
وخامسا معرفة مقداري الحملين القاطعين في نقطتي التثبيت والارتكاز ثم الموضع الذي يكون فيه الحمل القاطع معدوما ووضع المعادلة العمومية للاحمال القاطعة

وسادسا معرفة مقدار ضلع قطاع العتب المذكور

وسابعا معرفة موضع سهم الانحناء الاعظم ومقدار سهم الانحناء الاعظم كذلك

وذلك

وذلك من بعد معلومية ان معامل المقاومة يساوى ٨٠ر كيلوجرام بالنسبة للسنتيمتر المربع وان معامل المرونة يساوى (١٠)^٩ بالنسبة للمتر المربع



الجواب – يحسب رد الفعل من المعادلة

رَ = ٣/٨ ق ل ...... (١)

التى فيها ق = ٢٠٠ كيلوجرام ، ل = ١٠ متر

وحينئذ يكون رَ = ر٧٥٠ كيلوجرام

وأما عزم الانثناء فى قطاع التثبيت فانه يحسب من المعادلة

ع = ١/٨ ق ل٢ = ر٢٥٠٠ ... (٢)

وأما المعادلة العمومية لعزم الانثناء فهى

ع_س = ١/٢ ق س (س – ٣/٤ ل)

وأما عزم الانثناء الأعظم بالنسبة لباقى العزم فانه يحسب من المعادلة

ع = – ٩/١٢٨ ق ل٢ = ١٤٠٦ر٢٥ ...... (٢)

وأما موضع العزم المذكور فانه يتعين من المعادلة

س = ٣/٨ ل = ٣ر٧٥ متر ...... (٤)

وأما موضع نقطة الانقلاب فانه يتعين من المعادلة

س = ٣/٤ ل = ٧ر٥ متر .... (٥)

وأما الحمل القاطع فى نقطة الارتكاز فهو

ع = – ٣/٨ ق ل = – ر٧٥٠ كيلوجرام

وأما الحمل القاطع فى نقطة التثبيت فانه يتعين من المعادلة

ع = ٥/٨ ق ل = ١٢٥٠ كيلوجرام .... (٦)

وأما المعادلة العمومية للأحمال القاطعة فهى

ع_س = ق س – ٣/٨ ق ل

واذا جعل فيها ع_س = ٠ يكون س = ٣/٨ ل وهو موضع انعدام الحمل القاطع

ولاجل تعيين قطاع العتب يقال حيث أن أكبر العزمين العظيمين هو العزم فى قطاع التثبيت فيحسب ضلع القطاع من المعادلة

ع = ٢ م ك/ه = ١/٦ م ه٣

التى منها ه = ∛(٦ ع/م) = ٠ر٢٦٦ متر

وأما موضع سهم الانحناء الاعظم فانه يتعين من المعادلة

س = ٤٢ر٠ ل = ٤ر٢ متر . . . . (٧)

واما مقدار سهم الانحناء الاعظم المذكور فانه يتعين من المعادلة

ف = ١/١٨٤ م قد ل٤ = ١٠٨٦٩ر٥٦ / ٢١٥٦٢٥ر٠٠ = ٠٤٤ر٠ متر

(تنبيـه) - خط ا ب ء م هو الخط البيانى لعزم الانثنا وخط ء ه و هو الخط البيانى للأحمال القاطعة

(مسألة ٤٠) - المطلوب حساب رد الفعل وعزم الانثناء وضلع القطاع للعتب فى المسألة السابقة عندما يكون ذا مقاومة كبيرة ثم تعيين انحطاط نقطة الارتكاز عن نقطة التثبيت

الجواب - يحسب رد الفعل من المعادلة

ر = (√٢ - ١) قد ل . . . (١)

التى منها يكون ر = ٨٢٨ر٤ كيلوجرام

وأما عزم الانثناء فانه يحسب من المعادلة

ع = ع = ½ قد ل٢ (٢ - ٢√٢) = ٠٨٦ر٠ قد ل٢ ....(٢)

التى منها ع = ع = ٠٠ر١٧١٦

وأما ضلع القطاع فانه يحسب من المعادلة ع = ع ه/٢ = ١/٦ م ه٣ التى منها

ه = ∛(٦ع/م) = ٢٢٤ر٠ متر

وأما انحطاط نقطة الارتكاز عن نقطة التثبيت فانه يحسب من المعادلة

ف = ١/٢٤ م قد ل٤ (٨√٢ - ١١) = ٠٠٢١ر٠ م قد ل٤ .... (٣)

التى فيها م = ١/ك و وعليه يكون

ف = ٠٠٢١ر٠ × ١/٢٥١٢٢٢ر١ × قد ل٤ = ٠١٠٤ر٠ متر

(تنبيه) - اذا اريد تعيين نقطة الانقلاب يجعل فى معادلة

ع = قد س٢/٢ - ر س . . . . (٤)

ع = ٠ ويستخرج مقدار س بدلالة قد ، ر ثم يوضع فى المقدار المذكور عوضا عن ر مقداره وهو ر = (√٢ - ١) قد ل

واذا أريد تعيين موضع عزم الانثناء الأعظم الثانى يوضع بدلا عن ع فى معادلة (٤) مقدار العزم ع

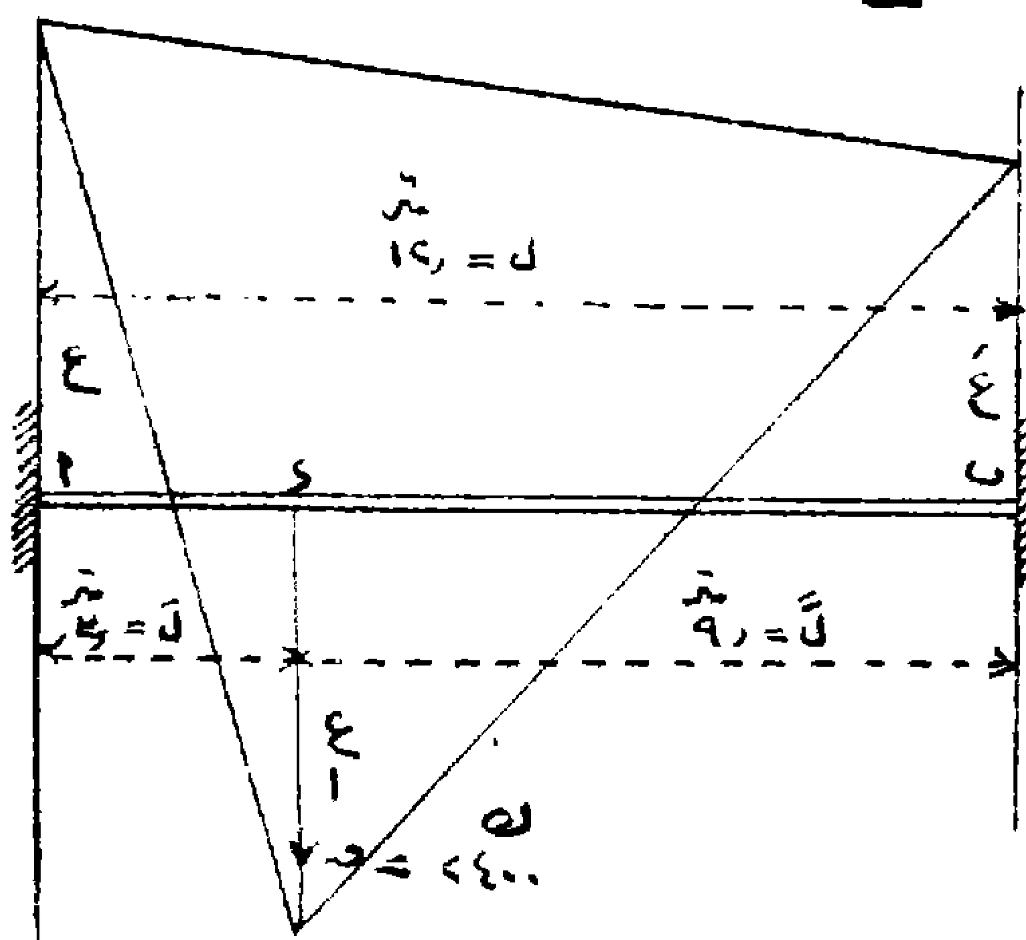
واذا اريد تعيين سهم الانحناء الأعظم وموضعه فيلزم الرجوع الى القواعد المقررة فى العلم مع مراعاة هذه الحالة الخصوصية فيها

(المسألة ٤١) - المعلوم عتب من الخشب قطاعه مربع مثبت افقيا من الطرفين وطوله ل = ٢ر١ متر ويحمل بحمل مقداره ٢٤٠٠ كيلوجرام واقع على بعد ٤ر٠ متر من احد الطرفين والمطلوب

أولا

اولا معرفة مقادير عزم الانثناء الثلاثة الواقعة فى قطاعى التثبيت وفى موضع الحمل
وثانيا حساب قطاع العتب بالنسبة لاكبر عزم الانثناء الثلاثة المذكورة
وثالثا ايجاد النهاية العظمى لأحد العزمين فى قطاعى التثبيت وموضع الحمل فى هذه الحالة
ورابعا تعيين مقادير عزم الانثناء الثلاثة السابقة فى حالة ما يكون الحمل المذكور واقعا فى الوسط ثم تعيين قطاع العتب فى هذه الحالة
وخامسا تعيين مقدار سهم الانحناء الاعظم فى الحالة المذكورة وموضعه كذلك

وذلك جميعه من بعد معلومية ان معامل المقاومة يساوى ٨٠ر كيلوجرام بالنسبة للسنتيمتر المربع
وان معامل المرونة يساوى ١٠ر^٩ كيلوجرام بالنسبة للمتر المربع



الجواب ـ يحسب عزم الانثناء ع فى قطاع التثبيت ا
من المعادلة $\text{ع} = \frac{\text{لَ لً}^{2}}{\text{ل}^{2}}\,\text{ه}$ ...... (١)
التى منها $\text{ع} = ٤٠٠٠ر$
وأما عزم الانثناء عَ فى قطاع التثبيت ب فانه يحسب
من المعادلة $\text{عَ} = \frac{\text{لً لَ}^{2}}{\text{ل}^{2}}\,\text{ه}$ .... (٢)
التى منها $\text{عَ} = ١٢٠٠ر$
وأما عزم الانثناء $\text{ع}_{١}$ فى موضع الحمل ء فانه يحسب
من المعادلة $\text{ع}_{١} = \frac{٢\,\text{لَ}^{2}\,\text{لً}^{2}}{\text{ل}^{3}}\,\text{ه}$ .... (٣)
التى منها $\text{ع}_{١} = ٢٠٢٥ر$
وحيث ان عزم الانثناء ع هو اكبر العزم الثلاثة فيتعين القطاع من المعادلة
$$\text{ع} = \frac{٢\,\text{م}\,\text{ك}}{\text{هـ}} = \frac{\text{م}}{٦}\,\text{هـ}^{3}$$
التى منها $\text{هـ} = \sqrt[3]{\frac{٦\,\text{ع}}{\text{م}}} = ٦٢١ر٠$ متر

أما عزم الانثناء لاحد العزمين ع فى قطاع التثبيت ا فيكون نهاية عظمى حينما يكون الحمل ه واقعا فى ثلث طول العتب من جهة نقطة التثبيت ا اعنى حينما يكون $\text{لَ} = \frac{\text{ل}}{٣} = ٤$ متر وفى هذه الحالة يكون $\text{لً} = ٨$ متر ويحدث

$$\text{ع} = \frac{٤}{٢٧}\,\text{ه ل} \ ،\ \text{عَ} = \frac{٢}{٢٧}\,\text{ه ل} \ ،\ \text{ع}_{١} = \frac{٨}{٨١}\,\text{ه ل} \quad \text{اعنى يكون}$$
$$\text{ع} = ٤٢٦٦ر٦٧ \ ،\ \text{عَ} = ٢١٣٣ر٣٣ \ ،\ \text{ع}_{١} = ٢٨٤٤ر٤٤$$

وأما مقدار كل من عزم الانثناء الثلاثة السابقة فى حالة ما يكون الحمل ه واقعا فى الوسط فهو
$$\text{ع} = \text{عَ} = \text{ع}_{١} = \frac{١}{٨}\,\text{ه ل} \ \ .... (٤)$$
ومنه يكون $\text{ع} = ٣٦٠٠ر$
وأما قطاع العتب فى هذه الحالة فانه يحسب من معادلة $٣٦٠٠ = \frac{٢\,\text{م}\,\text{ك}}{\text{هـ}} = \frac{١}{٦}\,\text{م}\,\text{هـ}^{3}$ التى منها

$$هـ = \sqrt[3]{\frac{٢١٦٠٠}{٨٠٠٠٠٠٠}} = ١٤ر٠ \text{ متر}$$

وأما مقدار سهم الانحناء الاعظم فأنه يتعين في هذه الحالة من معادلة

$$ف = \frac{١}{١٩٢} م هـ ل^{٢} = \frac{١}{١٩٢ وى} ق ل^{٤}$$

التي منها $ف = ٠٢٤ر٠$ متر

وأما موضع سهم الانحناء المذكور فيكون في موضع الحمل

(المسألة ٤٢) — المطلوب حل المسألة السابقة في حالة ما يكون الحمل ٢٤٠٠ كيلوجرام موزعا بانتظام على طول العتب اعنى ان الحمل الموزع بانتظام على المتر الطولى يكون مساويا الى ٢٠٠ كيلوجرام

الجواب — حيث ان عزم الانثناء في احد قطاعى التثبيت يتعين من معادلة

$$ع = \frac{١}{١٢} ق ل^{٢} \;\ldots\ldots (١)$$

وان عزم الانثناء في وسط العتب يتعين من معادلة

$$ع_{١} = \frac{١}{٢٤} ق ل^{٢} \;\ldots\ldots (٢)$$

وكان مقدار ع ضعف مقدار ع١ فيحسب حينئذ قطاع العتب بناء على معادلة (١) من المعادلة

$$\frac{١}{١٢} ق ل^{٢} = \frac{١}{٦} م هـ^{٣}$$ ومنها يحدث

$$هـ = \sqrt[3]{\frac{ق ل^{٢}}{٢ م}} = ٢٦ر٠ \text{ متر}$$

وأما نقطة الانقلاب ب فانها تتعين من المعادلة

$$س = ٢١١ر٠ ل \;\ldots\ldots (٣)$$

التي منها $س = ٥٣ر٢$ متر $= أ ى = ب جـ$

وأما الخط البيانى للأحمال القاطعة م ن فأنه يتعين من المعادلة

$$ح = \frac{١}{٢} ق ل - ق س \;\ldots\ldots (٤)$$

التي منها يكون مقدار الحمل القاطع في كل من قطاعى التثبيت مساويا الى $\frac{ق ل}{٢}$ وان الحمل القاطع في وسط العتب يكون معدوما

وأما سهم الانحناء الاعظم فأنه في وسط العتب ويحسب من المعادلة

$$ف = \frac{ق ل^{٤}}{٣٨٤ وى} \;\ldots\ldots (٥)$$

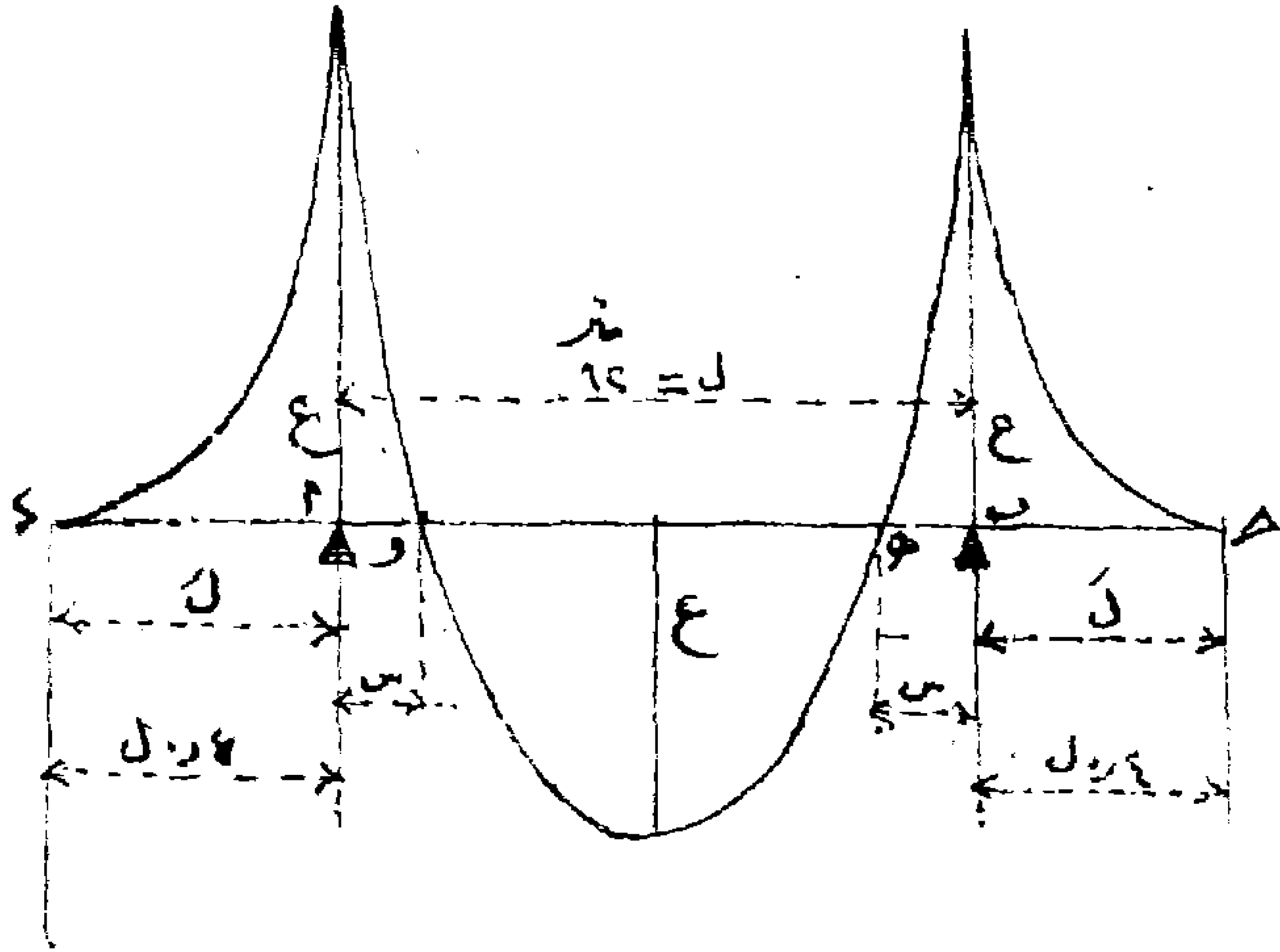
التي منها $ف = ٠٠٨ر٠$ متر

(المسألة ٤٣) — المطلوب حل (مسألة ٤٢) في حالة ما يكون العتب كبير المقاومة وان عزمى الانثنا في نقطتى التثبيت متساويان

الجواب — يبحث اولا عن مقدار $\bar{ل}$ من معادلة

$$\bar{ل} = ٤٢ر٠ ل \;\ldots\ldots (١)$$

التي منها



التى منها $\text{ل}' = ٤٠ر × ١٢ = ٨ر٤^{\text{متر}}$

ثم يبحث ثانيا عن مقدار كل من ردى الفعلين أو الحملين القاطعين الواقعين فى نقطتى الارتكاز ا ، ب المعتبرتين فى هذه الحالة نقطتى تثبيت من المعادلة

$$ع = ر = \frac{١}{٢} ق (ل + ٢ ل') \ldots\ldots (٢)$$

التى منها

$$ع = \frac{١}{٢} × ٢٠٠ × (١٢ + ٢ × ٨ر٤) = ٢١٦٠^{\text{كيلوجرام}}$$

وثالثا يبحث عن عزم الانثناء فى نقطتى ا ، ب وفى وسط العتب من المعادلة

$$ع = \frac{١}{١٦} ق ل^٢ \ldots\ldots (٣)$$

التى منها $ع = ١٨٠٠٠ر$

وحينئذ يبحث عن قطاع العتب من المعادلة

$$ع = \frac{٢ م ك}{هـ} = \frac{١}{٦} م هـ^٢$$

التى منها $هـ = \sqrt{\frac{٦ ع}{م}} = ٢٢٨ر^{\text{متر}}$

ورابعا يبحث عن بعد كل من نقطتى الانقلاب و ، هـ عن احدى نقطتى التثبيت من المعادلة

$\frac{١}{٢} ق س (ل - س) = \frac{١}{١٦} ق ل^٢$ التى منها

$$س = \frac{ل}{٢} (١ \pm \sqrt{\frac{١}{٢}}) = \frac{ل}{٢} (١ \pm ٧٠٧ر) \ldots\ldots (٤)$$

أعنى بالنسبة لنقطة ا مثلا

$$ا و = \frac{ل}{٢} (١ - ٧٠٧ر) = ٢٩٣ر × \frac{ل}{٢} = ١٤٦٥ر ل$$

$$ا هـ = ٧٠٧ر١ × \frac{ل}{٢} = ٨٥٢٥ر ل$$

وحيث ان $ل = ١٢^{\text{متر}}$ فيكون

$$ا و = ٧٥٨ر١^{\text{متر}} ، ا هـ = ٢٤٢ر١٠^{\text{متر}}$$

وخامسا حيث ان سهم الانحناء الاعظم يوجد فى وسط العتب فيحسب من المعادلة

$$ف = م (ت ت' - ا ا')$$

وحيث انه فى هذه الحالة $ت ت' = ا ا'$ فيكون

$$ف = ٠$$

اعنى انه فى هذه الحالة سهم الانحناء الاعظم يكون معدوما وعليه فلا يكون للعتب المذكور فيما بين نقطتى التثبيت ا ، ب سهم انحناء

(المسألة ٤٤) — عتب مرتكز على ثلاث نقط ارتكاز موجودة فى مستو واحد افقى ومتباعدة عن

بعضها بالتساوى بحيث ان البعد بين كل نقطتى ارتكاز متتابعتين يساوى ٣,٢ متر وان الحمل الموزع بانتظام بالنسبة للمتر الطولى من العتب فى كل من الفتحتين يساوى ٢٠٠٠ كيلوجرام والمطلوب

أولا معرفة مقدار عزم الانثنا فى نقطة الارتكاز المتوسطة

وثانيا معرفة موضع نقطتى الانقلاب

وثالثا معرفة مقدار عزم الانثناء الاعظم الواقع بين نقطتى ارتكاز متتابعتين وبعد موضعه عن نقطة الارتكاز المتطرفة وتعيين باقى عزم الانثناء فى جميع نقط العتب بالنسبة لكل فتحة

ورابعا وضع المعادلتين اللتين يحسب منهما موضع سهم الانحناء الاعظم ومقداره بالنسبة لكل فتحة من الفتحتين المذكورتين فى هذه الحالة

وخامسا تعيين مقادير الاحمال القاطعة فى كل من نقط الارتكاز الثلاثة ومن باقى نقط العتب بالنسبة لكل فتحة ثم تعيين الموضع الذى يكون فيه الحمل القاطع معدوما بالنسبة لكل فتحة أيضا

الجواب — لأجل تعيين عزم الانثناء فى نقطة الارتكاز المتوسطة ب نضع المعادلة الآتية

$$\text{٤ ل ع} = -\tfrac{١}{٢}\ \text{ه ل}^{٣} \ \ldots\ldots (١)$$

الناتجة بناء على نظرية العزم الثلاثة التى فيها ل رمز لطول كل من الفتحتين ع رمز لعزم الانثناء فى نقطة الارتكاز المتوسطة ب و ه رمز للحمل الموزع بانتظام على المتر الطولى من العتب بالنسبة لكل من الفتحتين المذكورتين ومنها يحدث

$$\text{ع} = -\tfrac{١}{٨}\ \text{ه ل}^{٢} = -\ ٢٨٤٠٠$$

ولأجل تعيين موضع نقطة الانقلاب نضع المعادلة

$$\text{ع}_{\text{س}} = \frac{\text{ع س}}{\text{ل}} + \tfrac{١}{٢}\ \text{ه س (ل} - \text{س)} \ \ldots\ldots (٢)$$

ثم نجعل فى هذه المعادلة $\text{ع}_{\text{س}} = ٠$ فيحدث

$$\text{ع س} = -\tfrac{١}{٢}\ \text{ه س (ل} - \text{س) ل} \quad \text{ومنها يحدث}$$

$$\text{س} = \frac{\text{ه ل}^{٢} + \text{٢ ع}}{\text{ه ل}} = \frac{\text{ه ل}^{٢} - \frac{\text{ه ل}^{٢}}{٤}}{\text{ه ل}} = \tfrac{٣}{٤}\ \text{ل} = ٢,٤\ \text{متر}$$

وحيث ان عزم الانثناء الاعظم الواقع بين نقطتى الارتكاز المتتابعتين يوجد فى منتصف البعد $\tfrac{٣}{٤}$ ل فنجعل فى معادلة (٢) $\text{س} = \tfrac{٣}{٨}\ \text{ل}$ وحينئذ يكون

$$\text{ع} = \tfrac{٣}{٨}\ \text{ل} \times \frac{\text{ع}}{\text{ل}} + \frac{\text{٣ ه}}{١٦}\ \text{ل} \times \tfrac{٥}{٨}\ \text{ل}$$

وحيث أن

وحيث أن $ع = -\frac{١}{٨}$ ه ل٤ فيكون

$$ع = -\frac{٢}{٦٤} ه ل٤ + \frac{١٥}{١٢٨} ه ل٤ = \frac{٩}{١٢٨} ه ل٤$$

ولايجاد باقي عزم الانثناء في كل من الفتحتين المذكورتين يكفي ان يعطى الى س في معادلة (٢) جميع المقادير المحصورة بين صفر ، ل

وأما موضع سهم الانحناء الاعظم ومقداره فيتعينان من المعادلتين

$$س = ٠,٤٢ ل$$

$$ف = \frac{١}{١٨٤} م ه ل٤$$

فمن المعادلة الأولى يتعين موضع سهم الانحناء الأعظم ومن الثانية يتعين مقدار سهم الانحناء المذكور

ولاجل تعيين مقادير الأحمال القاطعة في نقطة الارتكاز نضع المعادلة

$$ح = \frac{ع}{ل} + \frac{١}{٢} ه ل - ه س \ldots\ldots (٢)$$

ونجعل فيها ابتداء س = ٠ فينتج الحمل القاطع في كل من نقطتي الارتكاز المتطرفتين ح، ، وهو

$$ح = ح = \frac{١}{٢} ه ل - \frac{١}{٨} ه ل = \frac{٣}{٨} ه ل$$

ثم نجعل فيها ايضا س = ل فينتج الحمل القاطع في نقطة الارتكاز المتوسطة بالنسبة لاحدى الفتحتين وهو

$$ح = -\frac{١}{٨} ه ل + \frac{١}{٢} ه ل - ه ل = -\frac{٥}{٨} ه ل$$

وحيث ان الحمل القاطع في نقطة الارتكاز المتوسطة المذكورة بالنسبة للفتحة الأخرى هو

$$ح = -\frac{٥}{٨} ه ل$$

فيكون مقدار الحمل القاطع الكلي في نقطة الارتكاز المتوسطة هو

$$ح = -\frac{٥}{٤} ه ل$$

ولتعيين مقادير باقي الاحمال القاطعة بالنسبة لكل فتحة يكفي ان يعطى الى س في معادلة (٢) جميع المقادير المحصورة بين صفر ، ل

ولتعيين الموضع الذي يكون فيه الحمل القاطع معدوما نجعل في معادلة (٢) ح = ٠ فيكون

$$س = \frac{١}{٢} ل - \frac{١}{٨} ل = \frac{٣}{٨} ل$$

تنبيـــه ـ بمقارنة نواتج هذه المسألة بنواتج مسألة ٢٩ السابقة يرى انه يمكن حساب جميع الاشياء الخاصة بكل من الفتحتين في هذه الحالة بنفس القوانين الخاصة بمسألة ٢٩ السابقة ويستغنى الحال حينئذ عن استعمال القوانين الخاصة بنظرية العزم الثلاثية وما يتعلق بها في هذه الحالة

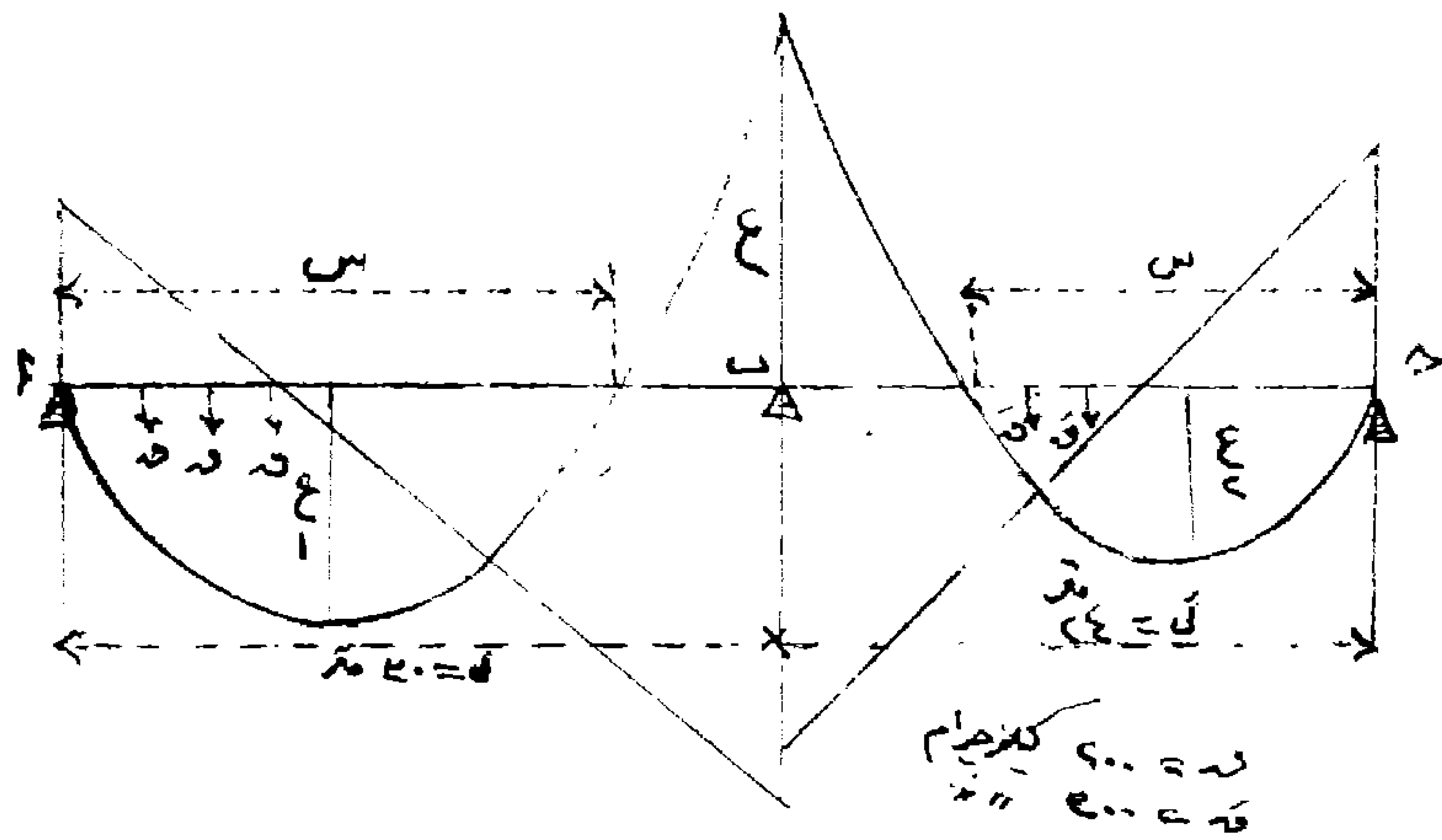
(المسألة ٤٥) ـ عتب مرتكز على ثلاث نقط ارتكاز موجودة في استواء واحد والبعد بين الأولى والثانية يساوي ٦,٠ متر وبين الثانية والثالثة يساوي ٤,٠ متر وان الحمل الموزع بانتظام بالنسبة للمتر الطولي من الفتحة الأولى التي مقدارها ٦,٠ متر يساوي ٣,٠٠ كيلوجرام وأن الحمل الموزع بانتظام بالنسبة للمتر الطولي من الفتحة الثانية يساوي ٢,٠٠ كيلوجرام والمطلوب

اولا معرفة عزم الانثناء فى نقطة الارتكاز المتوسطة

وثانيا معرفة موضع نقطة الانقلاب فى كل من فتحتى العتب ثم عزم الانثناء الاعظم فى كل من الفتحتين المذكورتين كذلك

وثالثا معرفة الاحمال القاطعة فى نقط الارتكاز الثلاثة ثم معرفة الموضع الذى ينعدم فيه الحمل القاطع فى كل من الفتحتين

ورابعا معرفة سهم الانحناء الأعظم وموضعه فى كل من الفتحتين المذكورتين



الجواب - لاجل معرفة عزم الانثناء الواقع فى نقطة الارتكاز ب نضع المعادلة

٢(ل + لَ) ع = - ١/٤ (ه ل٣ + هَ لَ٣)

ومنها يحدث

ع = - (ه ل٣ + هَ لَ٣) / ٨ (ل + لَ) ..... (١)

أو ع = - ٢١٠٠ ر٠

ولأجل تعيين نقطة الانقلاب فى الفتحة الاولى نضع المعادلة

عس = ع س / ل + ١/٢ ه س (ل - س) ..... (٢)

ونجعل فيها عس = ٠ فيحدث

ع = - ١/٢ ه (ل - س) ل ومنها يكون

س = ٢ع / ه ل + ل = (ه ل٢ + ٢ع) / ه ل = ٢٢ ر٦٢ متر

واما بعد نقطة الانقلاب فى الفتحة الثانية فانه يتعين من المعادلة

س = (هَ لَ٢ + ٢ع) / هَ لَ = ١٧ ر٨٦ متر

ولتعيين عزم الانثنا الاعظم فى الفتحة الأولى نجعل فى معادلة (٢) س = ١١ ر٢٢ فيكون

ع = ع ١١ ر٢٢ / ٣٠ + ١١٢٢ ر × ١٨ ر٦٨ = + ٧٠ ر١٢٨٠٦

ولتعيين عزم الانثناء الأعظم فى الفتحة الثانية نجعل فى معادلة (٢) س = ٨ ر٩٢ ، ه = ٢٠٠ ، ل = ٤٠ فيكون

ع = ع ٨ ر٩٢ / ٤٠ + ١٥٠ × ٨ ر٩٢ × ١٥ ر٠٧ = ٤٤ ر١٩٢٦٥

ولأجل تعيين مقدار الحمل القاطع فى كل من النقطتين ا ، ب بالنسبة للفتحة الأولى نضع المعادلة

حس = ع / ل + ١/٢ ه ل - ه س ......(٣)

ونجعل فيها س = ٠ فيحدث

ح ا = ع / ل + ١/٢ ه ل = + ٢٤ ر٦٢٢٢ كيلو جرام

ثم نجعل

ثم نجعل فيها ايضا س = ل = ٢٠ر٠ متر فيحدث

ع = ع/ل + ½ ق ل - ٢٠ر٠ ق = - ٦٦ر٤٧٤٦ كيلوجرام

ولاجل تعيين مقدار الحمل القاطع فى كل من النقطتين ح ، ب بالنسبة للفتحة الثانية نغير فى معادلة (٢) ل ، ق بالكميتين لَ ، قَ بالنسبة للفتحة الثانية فيكون

ع~س~ = ع/لَ + ½ قَ لَ - قَ س

ثم نجعل فى المعادلة المذكورة س = ٠ ، س = لَ على التوالى فيحدث

ع~ح~ = + ١٧ر٢٦٧٩ كيلوجرام

ع~ب~ = - ٨٢ر٤٥٢٠ كيلوجرام

وحينئذ يكون ع = ع~ح~ + ع~ب~ = - ٤٩ر٨٢٥٧ كيلوجرام

ولاجل تعيين الموضع الذى يكون فيه الحمل القاطع معدوما فى كل من الفتحتين نجعل فى معادلة (٣) ع~س~ = ٠ بالنسبة لكل من الفتحتين المذكورتين فيكون

س = ٤٢ر١١ متر بالنسبة للفتحة الاولى

س = ٨ر٩٢ بالنسبة للفتحة الثانية

اعنى ان الحمل القاطع ينعدم فى كل فتحة فى موضع عزم الانثناء الاعظم فيها

ولاجل تعيين موضع سهم الانحناء الاعظم فى كل من الفتحتين نضع بالنسبة للفتحة الاولى اب

عَ/ع = سَ/ل ، عً = ½ ق س سَ

واذا رمزنا للسعة ه ط و ك بالرمز ب

وللسعة ه و م ك بالرمز ا يكون

ب = (ع + عَ)/٢ س = ع(ل + سَ)/٢ل س

وحيث أن

ع = (ق ل^٢ + قَ لَ^٢)/٨(ل + لَ) فى المقدار المطلق

فيكون

ب = ١/١٦ × (ق ل^٢ + قَ لَ^٢)(ل + سَ)/ل (ل + لَ) س

وكذا يكون

ا = و م ك د + ه د ك = عَ/٢ س × ١/٨ ق سَ + ٢/٣ عً س = ١/١٢ ق سَ (س + ٢ سَ)

وبناء على ان ب = ا فى هذه الحالة يكون

١/١٦ × (ق ل^٢ + قَ لَ^٢)(ل + سَ)/ل(ل + لَ) = ١/١٢ ق س (س + ٢ سَ)

وحيث ان س = ل - سَ فيكون

٣/٤ × (ق ل^٢ + قَ لَ^٢)/ق ل(ل + لَ) (ل + سَ) = (ل - سَ)(ل + ٢ سَ)

ومن هذه المعادلة يستخرج مقدار س

ومتى علم مقدار س يستخرج سهم الانحناء الاعظم ف من المعادلة

$$ف = م \, (ب ب' - ١ ١')$$

وبمثل ذلك يتعين مقدار سهم الانحناء الاعظم وموضعه في الفتحة الثانية ب ح

(المسألة ٤٦) عتب مرتكز على خمس نقط ارتكاز موجودة في استواء واحد ومتباعدة عن بعضها بالتساوى بعد كل منها عن المجاورة لها قدره ل وهذا العتب محمل بحمل موزع بانتظام بالنسبة لمتر الطولى من كل فتحة قدره و والمطلوب

اولا معرفة مقادير عزم الانثناء في نقط الارتكاز المتوسطة اى المحصورة بين نقطتى الارتكاز المتطرفتين

وثانيا معرفة مقادير الاحمال القاطعة في جميع نقط الارتكاز المذكورة

$ع_١ = -\frac{٣}{٢٨} و ل^٢$ $ع_٢ = -\frac{٢}{٢٨} و ل^٢$ $ع_٣ = -\frac{٣}{٢٨} و ل^٢$ $ع_٠ = ٠$ $ع_٤ = ٠$

ا ب ح ء ه ل ل ل ل

الجواب – لاجل تعيين عزم الانثناء في نقط الارتكاز المتوسطة ب ا ح نضع المعادلات الآتية

$$٤ ل ع_١ + ل ع_٢ = -\frac{١}{٢} و ل^٣ \quad (١)$$

$$ع_١ ل + ٤ ل ع_٢ + ل ع_٣ = -\frac{١}{٢} و ل^٣$$

$$ع_٢ ل + ٤ ل ع_٣ = -\frac{١}{٢} و ل^٣$$

وحيث انه ينتج من المعادلة الاولى والثالثة من المعادلات المذكورة ان $ع_١ = ع_٣$ فالمعادلة الثانية تؤول الى

$$٢ ع_١ ل + ٤ ل ع_٢ = -\frac{١}{٢} و ل^٣ \quad \text{أو}$$

$$٤ ع_١ ل + ٨ ل ع_٢ = - و ل^٣$$

وبطرح المعادلة الاولى من معادلات (١) من هذه المعادلة الأخيرة طرفا بطرف يحدث

$$٧ ل ع_٢ = \frac{١}{٢} و ل^٣ - و ل^٣ = -\frac{١}{٢} و ل^٣ \quad \text{ومنها يحدث}$$

$$ع_٢ = -\frac{١}{١٤} و ل^٢ = -\frac{٢}{٢٨} و ل^٢$$

وبناء على ذلك يكون

$$٤ ل ع_١ - \frac{٢}{٢٨} و ل^٣ = -\frac{١}{٢} و ل^٣ \quad \text{ومنها يحدث}$$

$$ع_١ = -\frac{٣}{٢٨} و ل^٢$$

وحيث ان $ع_١ = ع_٣$ فيكون

$$ع_٣ = -\frac{٣}{٢٨} و ل^٢$$

ولأجل

ولأجل تعيين الأحمال القاطعة فى نقط الارتكاز نضع المعادلة العمومية وهى

$$ع_س = \frac{م ع_١ - ع_٢}{\frac{ل}{م+١}} + \frac{١}{٢} \frac{ق}{م+١} \frac{ل}{م+١} - ق س \quad ....(٢)$$

ولايجاد الحمل القاطع فى كل من نقطتى الارتكاز أ، هـ يجعل فى المعادلة المذكورة ابتداء أن س = ٠ فيكون

$$ع_أ = - \frac{٣}{٢٨} ق ل + \frac{١}{٢} ق ل = + \frac{١١}{٢٨} ق ل$$

ثم يجعل فيها س = ل فيكون

$$ع_هـ = \frac{٣}{٢٨} ق ل + \frac{١}{٢} ق ل - ق ل = - \frac{١١}{٢٨} ق ل$$

ولأجل تعيين الحمل القاطع فى كل من نقطتى الارتكاز ب، ء بالنسبة لكل من الفتحتين المتطرفتين يجعل ابتداء فى معادلة (٢) أن س = ل فيكون

$$ع_ب = - \frac{٣}{٢٨} ق ل + \frac{١}{٢} ق ل - ق ل = - \frac{١٧}{٢٨} ق ل$$

ثم يجعل فيها س = ٠ فيكون

$$ع_{ء'} = \frac{٣}{٢٨} ق ل + \frac{١}{٢} ق ل = + \frac{١٧}{٢٨} ق ل$$

ولأجل تعيين الحمل القاطع فى كل من نقطتى الارتكاز ب، ء بالنسبة لكل من الفتحتين المتوسطتين ب ح، ء ح يجعل ابتداء فى معادلة (٢) أن س = ٠ فيكون

$$ع_{ب'} = - \frac{٢}{٢٨} ق ل + \frac{١}{٢} ق ل = + \frac{١٥}{٢٨} ق ل$$

ثم يجعل فيها س = ل فيكون

$$ع_{ء''} = - \frac{٣}{٢٨} ق ل + \frac{٢}{٢٨} ق ل + \frac{١}{٢} ق ل - ق ل = - \frac{١٥}{٢٨} ق ل$$

ولأجل تعيين الحمل القاطع فى نقطة الارتكاز ح بالنسبة لكل من الفتحتين المتوسطتين المذكورتين يجعل ابتداء فى معادلة (٢) أن س = ل فيكون

$$ع_ح = - \frac{٢}{٢٨} ق ل + \frac{٣}{٢٨} ق ل + \frac{١}{٢} ق ل - ق ل = - \frac{١٣}{٢٨} ق ل$$

ثم يجعل فيها س = ٠ فيكون

$$ع_{ح'} = - \frac{٣}{٢٨} ق ل + \frac{٢}{٢٨} ق ل + \frac{١}{٢} ق ل = + \frac{١٣}{٢٨} ق ل$$

وحينئذ يمكن وضع الأحمال القاطعة على الترتيب الآتى

$$ع_أ = + \frac{١١}{٢٨} ق ل$$

$$\left.\begin{matrix} ع_ب = - \frac{١٧}{٢٨} ق ل \\ ع_{ب'} = + \frac{١٥}{٢٨} ق ل \end{matrix}\right\} \quad \text{ومنهما يحدث} \quad ع = \frac{٣٢}{٢٨} ق ل$$

$$\left.\begin{array}{l} ع_{ج'} = -\frac{١٣}{٢٨}\ و\ ل \\ ع_{ج''} = +\frac{١٣}{٢٨}\ و\ ل \end{array}\right\}$$ ومنها يحدث $ع_{ج} = \frac{٢٦}{٢٨}\ و\ ل$

$$\left.\begin{array}{l} ع_{د'} = -\frac{١٥}{٢٨}\ و\ ل \\ ع_{د''} = +\frac{١٧}{٢٨}\ و\ ل \end{array}\right\}$$ ومنها يحدث $ع_{د} = \frac{٣٢}{٢٨}\ و\ ل$

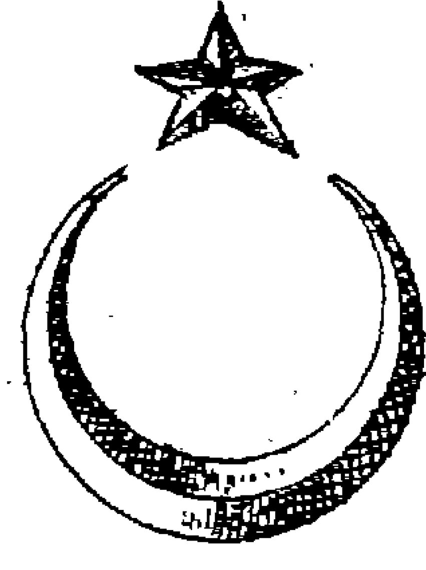
$$ع_{ه} = -\frac{١١}{٢٨}\ و\ ل$$

ويفهم من ذلك أنه في هذه الحالة تكون الأحمال القاطعة في نقط الارتكاز المتماثلة بالنسبة لنقطة الارتكاز المتوسطة متساوية

(تنبيه) الاشارات الناتجة من الحسابات تدل فقط على جهات الاحمال القاطعة بالنسبة لبعضها في الفتحة الواحدة ولا يجب في هذه الحالة مراعاة اختلاف الاشارة بالنسبة للاحمال القاطعة الواقعة في نقطة واحدة بل يجب اعتبار ان الاحمال القاطعة الواقعة في نقطة واحدة متحدة الاشارة وان الحمل القاطع الكلى الواقع فيها يساوى مجموعها



والى هنا تم طبع المسائل الخاصة بالجزء الأول لمقاومة مواد وعلى الله حسن الاتكال



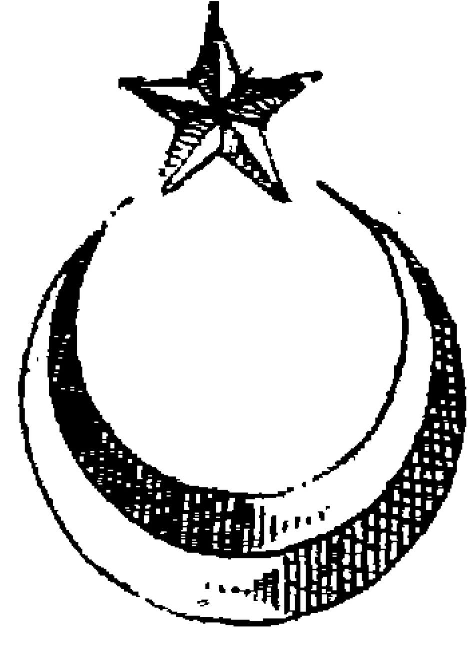
دروس
مقاومة المواد

الجارى تدريسها لتلامذة السنة الثالثة مهندسين ومعماريين من مدرسة المهندسخانه الخديوية

بمعرفة
حضرة احمد بك ذهني
ناظر المدرسة

على حسب الجداول التفصيلية للعلوم الجارى تدريسها بمدرسة المهندسخانه الخديوية الصادر عليها قرار نظارة المعارف العمومية فى ٣٠ اغسطس سنة ١٨٩٤ المجعولة ذيلا لقانون المدرسة المذكورة المصدق عليه من مجلس النظار فى ٨ يونيه سنة ١٨٩٤

﴿ طبع ﴾
﴿ بمدرسة المهندسخانه الخديوية بسراى درب الجماميز ﴾
﴿ سنة ١٨٩٧ افرنكية ﴾



بسم الله الرحمن الرحيم

ميكانيكا تطبيقية

مقاومة المواد

تطبيق حسابات المقاومة على القناطر الخشبية والمعدنية

مقدمة ـ الحمل العارضى فى الممرات الخشبية المعدة لمرور المشاة فقط يعتبر ٣٠٠ كيلوجرام على المتر المربع

واما الحمل المستديم فانه يحسب بناء على الاحمال الثابتة المحملة على العتب

ثم يحسب بناء على الحمل المستديم والحمل العارضى المذكورين مقدار الحمل الموزع بانتظام على المتر الطولى من الاعتاب والقطع الحاملة ويحسب بعد ذلك عزم الانحناء كما سيأتى وهذا فى حالة ما يكون الممر مركبا من فتحة واحدة وأما اذا كان مركبا من عدة فتحات فيحسب الحمل الموزع بانتظام على المتر الطولى من العتب بالنسبة لكل من الحمل المستديم والحمل العارضى على الانفراد ثم تحسب عزم الانحناء بالنسبة لكل منهما كما سيأتى

وانثقال عربات الاحمال المعتبرة فى حسابات قناطر الطرق هى

طونولاتة عدد		
٦	للعربة ذات العجلتين	عربات خفيفة
٨	للعربة ذات الاربع عجلات	
١١	للعربة ذات العجلتين	عربات ثقيلة
١٦	للعربة ذات الاربع عجلات	

وفى العربات ذات الاربع عجلات يعتبر البعد بين الدنجلين ٣٫٠٠ متر اذا كانت العربة ثقيلة ١٫٥٠ متر

اذا

اذا كانت خفيفة

وأما الحمل العارضى على تورو توارات القناطر على العموم سواء كانت قناطر طرق أو سكك حديد فأنه يعتبر ٣٠٠ كيلوجرام بالنسبة للمتر المربع

واثقال وابورات السكة الحديد مع عربات الذخائر واطوالها المستعملة فى حسابات القناطر المعدة للسكك الحديد هى فى المتوسط كما يأتى

	طول متر	عدد طونولاتة
الوابور بدون عربة الذخائر	٩	٤٢
عربة الذخائر	٦٫٥	٣٠
	١٥٫٥	٧٢

ويحسب الأعتاب المعدنية الطولية المعدة لحمل سكة حديد باعتبار حمل عارضى موزع بانتظام على المتر الطولى من السكة الحديد الواحدة أى من الشريط الواحد بالنسبة لمقدار فتحة القنطرة من الجدول الآتى

فتحة القنطرة	الحمل العارضى الموزع بانتظام على المتر الطولى من الشريط الواحد	فتحة القنطرة	الحمل العارضى الموزع بانتظام على المتر الطولى من الشريط الواحد	فتحة القنطرة	الحمل العارضى الموزع بانتظام على المتر الطولى من الشريط الواحد	فتحة القنطرة	الحمل العارضى الموزع بانتظام على المتر الطولى من الشريط الواحد
متر	كيلوجرام	متر	كيلوجرام	متر	كيلوجرام	متر	كيلوجرام
٢	١٢٠٠٠	١٠	٧٣٠٠	١٨	٥٢٠٠	٥٠	٣٩٠٠
٣	١٠٥٠٠	١١	٦٩٠٠	١٩	٥١٠٠	٥٥	٣٨٠٠
٤	١٠٢٠٠	١٢	٦٥٠٠	٢٠	٤٩٠٠	٦٠	٣٧٠٠
٥	٩٨٠٠	١٣	٦٢٠٠	٢٥	٤٥٠٠	٧٠	٣٥٠٠
٦	٩٥٠٠	١٤	٥٩٠٠	٣٠	٤٣٠٠	٨٠	٣٤٠٠
٧	٨٩٠٠	١٥	٥٧٠٠	٣٥	٤٢٠٠	٩٠	٣٣٠٠
٨	٨٣٠٠	١٦	٥٥٠٠	٤٠	٤١٠٠	١٠٠	٣٢٠٠
٩	٧٨٠٠	١٧	٥٤٠٠	٤٥	٤٠٠٠	١٢٠	٣١٠٠
						من ١٢٠ فما فوق	٣٠٠٠

والثقل المستديم المتوسط مقدرا بالكيلوجرامات بالنسبة للمتر الطولى من القناطر المعدنية التى من الصاج الكاملة لسكك حديد يتعين من القانونين الآتيين

$$\text{ث} = ٥١ \sqrt{\text{ف}^{٢} + (\text{س} + ٢٨)^{٢}} - ٢٤٢٠ \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (١)$$

$$\text{ث} = ٩٢٫٨٢ \sqrt{\text{ف}^{٢} + (\text{س} + ٢٨)^{٢}} - ٤٤٠٤ \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (٢)$$

فقانون (١) يستعمل للقناطر الحاملة لسكة حديد واحدة

وقانون (٢) يستعمل للقناطر الحاملة لسكتي حديد

وثقل المتر المربع من القناطر الصاج الحاملة لسكة حديد يتعين من القانون

$$\text{ث} = ١١٫٥٩ \sqrt{\text{ف}^{٢} + (\text{س} + ٢٨)^{٢}} - ٥٥٠ \quad \ldots\ldots\ldots \quad (٣)$$

وهذا القانون يتحصل من القانون الأول بقسمة الطرف الثاني على ٤٫٤ متر الذي هو عرض القنطرة الحاملة لسكة حديد واحدة ويتحصل من القانون الثاني بقسمة الطرف الثاني منه على ٨ متر الذي هو عرض قنطرة حاملة لسكتي حديد

وثقل المتر المربع من القناطر الصاج الحاملة لطريق معتاد يتعين من القانون

$$\text{ث} = ٨٫٥ \sqrt{\text{ف}^{٢} + (\text{س} + ٢٠)^{٢}} - ٣٧٥ \quad \ldots\ldots \quad (٤)$$

وإذا كانت القنطرة من الزهر وحاملة لطريق معتاد يتعين ثقل المتر المربع منها من القانون

$$\text{ث} = ٩٫٢ \sqrt{\text{ف}^{٢} + (\text{س} + ٣٠)^{٢}} - ٤١٠ \quad \ldots\ldots \quad (٥)$$

وفي هذه الخمسة قوانين س رمز لفتحة القنطرة أو لفتحة العين الواحدة والأثقال الناتجة منها تختص بالأجزاء المعدنية فقط بدون الدكة والعقود التي تلزم للعرشة

وبالجملة فإنه يمكن استعمال الجدول الآتي عوضا عن القوانين السابقة

فتحة العين متر	قناطر من الصاج تحمل السكك الحديدية: ثقل المتر الطولي بالكيلوجرام بالنسبة لسكة حديد واحدة	قناطر من الصاج تحمل السكك الحديدية: ثقل المتر الطولي بالكيلوجرام بالنسبة لسكتي حديد	قناطر من الصاج تحمل السكك الحديدية: [illegible]	قناطر تحمل طريق معتاد: ثقل المتر المربع بالكيلوجرام من الصاج	قناطر تحمل طريق معتاد: ثقل المتر المربع بالكيلوجرام من الزهر
٥	٦٣٥	١١٥٦	١٤٤	١٠٠	١٥١
١٠	٧٨٣	١٤٢٥	١٧٨	١٢١	١٧٩
١٥	٩٤٣	١٧١٦	٢١٤	١٤٤	٢٠٩
٢٠	١١١٥	٢٠٢٩	٢٥٣	١٦٩	٢٤٠
٢٥	١٢٩٥	٢٣٥٣	٢٩٤	١٩٣	٢٧٤
٣٠	١٤٨٥	٢٧٠٣	٣٣٧	٢٢٦	٣٠٨
٣٥	١٦٨٠	٣٠٥٨	٣٨٢	٢٥٧	٣٤٤
٤٠	١٨٨٤	٣٤٢٩	٤٢٨	٢٨٩	٣٨١
٤٥	٢٠٩١	٣٨١٦	٤٧٥	٣٢٣	٤١٩
٥٠	٢٣٠٥	٤١٩٥	٥٢٤	٣٥٦	٤٥٨
٥٥	٢٥٢٢	٤٥٩٠	٥٧٣	٣٩١	٤٩٧
٦٠	٢٧٤١	٤٩٨٩	٦٢٣	٤٢٧	٥٣٧

فتحة العين متر	قناطر من الصاج تحمل السكك الحديدية: ثقل المتر الطولي بالكيلوجرام بالنسبة لسكة حديد واحدة	قناطر من الصاج تحمل السكك الحديدية: ثقل المتر الطولي بالكيلوجرام بالنسبة لسكتي حديد	قناطر من الصاج تحمل السكك الحديدية: [illegible]	قناطر تحمل طريق معتاد: ثقل المتر المربع بالكيلوجرام من الصاج	قناطر تحمل طريق معتاد: ثقل المتر المربع بالكيلوجرام من الزهر
٦٥	٢٩٦٦	٥٣٨٨	٦٧٤	٤٦٣	٥٧٨
٧٠	٣٢٩١	٥٨٠٨	٧٢٥	٥٠٠	٦١٨
٧٥	٣٤٢٠	٦٢٢٤	٧٧٧	٥٣٧	٦٦٠
٨٠	٣٦٤٩	٦٦٤١	٨٢٩	٥٧٥	٧٠٢
٨٥	٣٨٨٢	٧٠٦٣	٨٨٢	٦١٣	٧٤٤
٩٠	٤١١٦	٧٤٩١	٩٣٥	٦٥٢	٧٨٦
٩٥	٤٣٥٠	٧٩١٣	٩٨٩	٦٩١	٨٢٨
١٠٠	٤٥٨٨	٨٣٥٠	١٠٤٣	٧٥٠	٨٧١
١٠٥	٤٨٢٦	٨٧٨٣	١٠٩٧	٧٦٩	٩١٤
١١٠	٥٠٦٥	٩٢١٨	١١٥١	٨٠٩	٩٥٨
١١٥	٥٣٠٦	٩٦٥٣	١٢٠٦		

تابع الجدول السابق

فتحة القناطر بالمتر	قناطر من الصاج لحمل السكك الحديدية — ثقل المتر الطولي بالكيلوجرام — بالنسبة لسكة حديد واحدة	بالنسبة لسكتي حديد	ثمن المتر الطولي بالفرنك	فتحة القناطر بالمتر	قناطر من الصاج لحمل السكك الحديدية — ثقل المتر الطولي بالكيلوجرام — بالنسبة لسكة حديد واحدة	بالنسبة لسكتي حديد	ثمن المتر الطولي بالفرنك
١٢٠	٥٥٤٧	١٠٠٩٥	١٢٦٢	١٤٠	٦٧٦٤	١٢٣١٠	١٥٣٧
١٢٥	٥٧٨٩	١٠٥٣٦	١٣١٦	١٥٠	٧٠٠٩	١٢٧٥٦	١٥٩٣
١٣٠	٦٠٣١	١٠٩٧٦	١٣٧١	١٥٥	٧٢٥٥	١٣٢٠٤	١٦٤٩
١٣٥	٦٢٧٦	١١٤٢٢	١٤٢٦	١٦٠	٧٥٠١	١٣٦٥٢	١٧٠٥
١٤٠	٦٥١٩	١١٨٦٤	١٤٨١				

وهاك جدولا يشتمل على ابعاد بعض حدايد على شكل ضعف حرف T اعني على شكل I ماخوذ من اطالس بعض الفابريقات

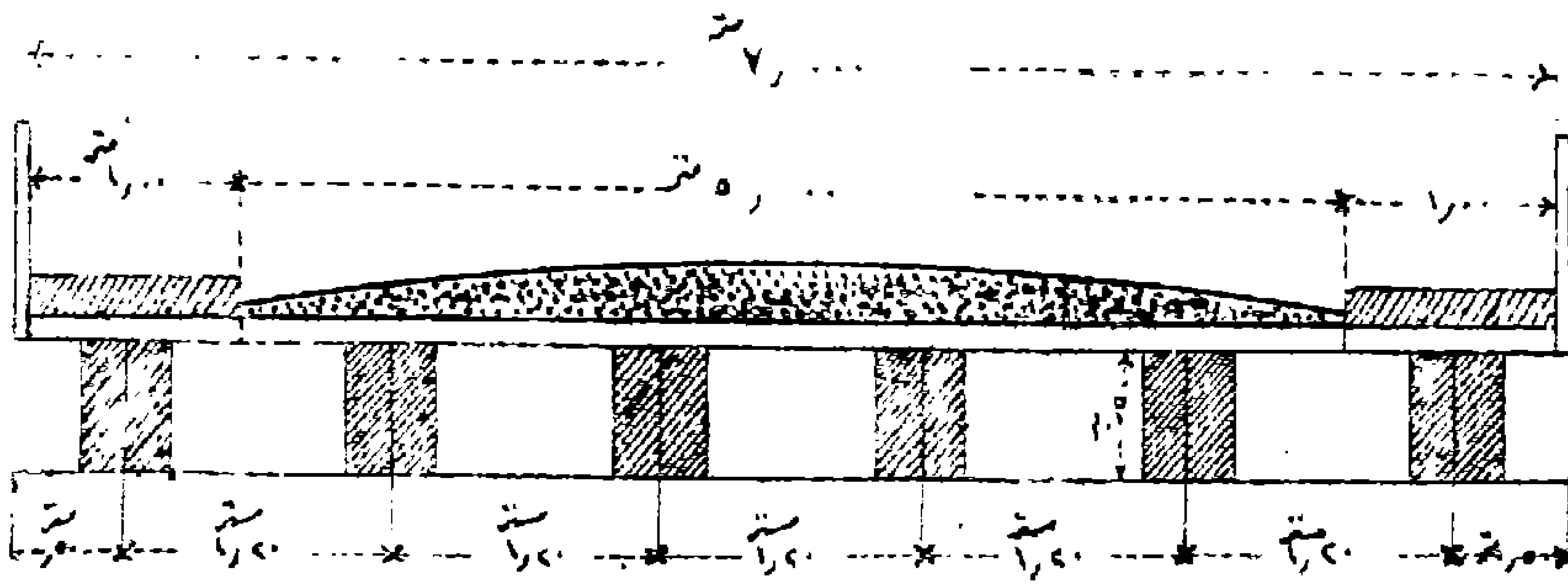
نمرة الحدايد	ابعاد الحدايد بالسنتيمتر — الارتفاع	الرؤوس الافقية — العرض	الرؤوس الافقية — السمك	سمك العصب	مقطع السيخ بالسنتيمتر المربع	ثقل المتر الطولي بالكيلوجرام	القوة العملية وهي عبارة عن مجموع الاحمال الواقعة في وسط العتب مضروبا في طول العتب مقدرا بالكيلوجرام
١	١٠	٤٫٣	٠٫٨٥	٠٫٥٠	١١٫٥٠	٩٫٠٠	٨٥٢
٢	١٢	٤٫٥٠	٠٫٧٠	٠٫٧٠	١٣٫٧٠	١١٫٠٠	١٠٨٤
٣	١٤	٤٫٧٠	٠٫٧٥	٠٫٦٤	١٥٫١٠	١٢٫٠٠	١٤٢٠
٤	١٤	٨٫٠٠	١٫٠٥	٠٫٨٥	٢٦٫٩٠	٢١٫٥٠	٢٨٢٨
٥	١٦	٤٫٨٠	٠٫٧٠	٠٫٩٠	١٩٫٩٠	١٥٫٠٠	١٨٨٠
٦	١٦	٨٫٠٠	١٫٠٥	٠٫٨٥	٢٨٫٦٠	٢٣٫٠٠	٣٣٩٢
٧	١٦	١٢٫٠٠	١٫٢٧	١٫٠٤	٤٤٫٥٠	٣٥٫٠٠	٥٦٨٤
٨	١٨	٥٫٥٠	١٫٠٠	٠٫٩٠	٢٥٫٤٠	٢٠٫٠٠	٢٩٤٠
٩	١٨	١٠٫٠٠	١٫٣٥	٠٫٩٠	٤٠٫٨٠	٣٢٫٥٠	٥٧١٦
١٠	٢٠	١١٫٠٠	١٫٣٥	١٫٠٠	٤٧٫٠٠	٣٨٫٠٠	٧٢٤٤
١١	٢٢	٦٫٤	١٫١٥	٠٫٩٠	٣٢٫٥٠	٢٦٫٠٠	٤٧٤٤
١٢	٢٤	١٠٫١٥	١٫٣٦	١٫١٥	٥١٫٩٠	٤٢٫٠٠	٨٩٥٢
١٣	٢٥	١٣٫٠٠	١٫٦٠	١٫٣٠	٦٩٫٩٠	٥٦٫٠٠	١٣١٠٨
١٤	٢٦	١٣٫٠٠	١٫٣٨	١٫٢٠	٦٣٫٨٠	٥١٫٠٠	١٢٣٦٤
١٥	٣٠	١٤٫٨٠	٢٫٠٧	١٫٥٠	١٠٠٫١٠	٨٠٫٠٠	٢٢٦١٢
١٦	٤٠	١٤٫٢٠	٢٫٠٠	١٫٥٥	١١٢٫٦٠	٩١٫٠٠	٣١٨٦٠
١٧	٥٠	١٦٫٠٠	٣٫٨٠	٢٫٠٠	٢٠٦٫٠٠	١٦٥٫٠٠	٧٤٦٢٨

ولبيان القوة العملية لعتب ما على شكل I نفرض عتبا من هذا القبيل طوله ٨ر٠٠ متر وثقل المتر الطولى منه ٨٠ر٠٠ كيلوجرام ومحملا بحمل موزع بانتظام على المتر الطولى بمقدار ٣٠٠ر٠٠ كيلوجرام
وحاملا أيضا حملا اضافيا فى وسطه قدره ١٠٠٠ كيلوجرام
وحاملا أيضا على بعد ١ر٢٠ متر من احدى نقطتى الارتكاز حملا قدره ٦٠٠ كيلوجرام
ثم يقال أن ثقل العتب باكمله يساوى ٨٠ × ٨ = ٦٤٠ كيلوجرام
ونصفه يحمل فى وسط العتب أعنى ٣٢٠ "
والحمل الموزع بانتظام بالنسبة للعتب بتمامه يساوى ٨ × ٣٠٠ = ٢٤٠٠ كجم ونصفه يحمل وسط العتب أعنى ١٢٠٠
والثقل الموضوع فى وسط العتب يساوى ١٠٠٠
والثقل ٦٠٠ كيلوجرام الموضوع على بعد ١ر٢٠ متر من احدى نقطتى الارتكاز يحمل فى الوسط قدره $\frac{٦٠٠ \times ١ر٢٠}{٤}$ = ١٨٠
فيكون مقدار مجموع الاحمال المحملة فى وسط العتب هو ٢٧٠٠
وبضرب هذا المقدار فى طول العتب وهو ٨ر٠٠ متر يكون الحاصل وهو ٢١٦٠٠ كيلوجرام هو القوة العملية للعتب المفروض

وحينئذ يكون العتب المذكور هو العتب المقابل لنمرة ١٥ تقريبا حيث ان ٢١٦٠٠ كيلوجرام يقرب من المقدار ٢٢٦١٢ الجدولى

فى حساب قنطرة خشبية

نفرض أن مقدار فتحة قنطرة خشبيه ثمانية أمتار وعرضها سبعة أمتار وتتركب من ستة اعتاب أصليه ارتفاع كل منها ٠ر٦٠ متر والبعد الكائن بينها من محور الى آخر يساوى ١ر٢٠ متر كما هو موضح فى شكل ١ وأن القنطرة المذكورة معدة لمرور طريق معتاد والمطلوب حساب عرض كل من الأعتاب المذكورة



لذلك يبتدأ أولا بتعيين ما يخص المتر الطولى من كل عتب من الاعتاب المذكورة من الحمل المستديم الموزع بانتظام وحينئذ فيبحث عن مسطح الجزء المحصور بين محورى عتبين حيثما اتفق فيكون ٩ر٦٠ متر ثم يضرب هذا العدد فى السمك المتوسط لدكة الطريق والتور توارين ولكن ٠ر٢٠ متر فيكون الناتج وهو ١ر٩٢ متر مكعب وحيث أن ثقل المتر المكعب من الدكة المذكورة يساوى ٢٥٠٠ كيلوجرام تقريبا فيكون ثقل الدكة المحصورة بين عتبين متتاليين هو ٤٨٠٠ كيلوجرام ويكون حينئذ مقدار الحمل المستديم الموزع بانتظام على المتر الطولى من العتب هو ٦٠٠ كيلوجرام ومن حيث أن الطريق معد لمرور العربات وكان ثقل أثقل عربة يساوى ١٦ طونولاته أعنى ١٦٠٠٠ كيلوجرام والبعد الكائن بين دنجلى العربة الواحدة يساوى ٣ر٠٠ متر فحينئذ

فحينئذ يخص المتر الطولى ٥٣٣٣ر كيلوجرام وحيث انه يمكن مرور عربتين مجاورتين لبعضهما فيكون الثقل على المتر الطولى هو ١٠٦٦٦ كيلوجرام وكان هذا الثقل موزعا على اربعة أعتاب كما هو مشاهد من الشكل فيكون مقدار ما يخص المتر الطولى من العتب الواحد بالنسبة للحمل العارضى الموزع بانتظام هو ٢٦٦٦ كيلوجرام تقريبا ويمكن اعتبار هذا الحمل للسهولة ٢٠٠٠ كيلوجرام فقط

وحينئذ فيمكن حساب عرض كل من الاعتاب المتوسطة المذكورة بناء على أن الحمل الموزع بانتظام على طول كل عتب هو مجموع الحملين المستديم والعارضى حيث أن القنطرة ذات فتحة واحدة وعليه فيكون مقدار الحمل الداخل فى الحساب هو ٢٦٠٠ كيلوجرام بالنسبة للمتر الطولى من العتب

ومع ملاحظة اعتبار الاعتاب مرتكزة بنهايتيها فقط فأنه من معادلة

$$\text{ع} = \frac{١}{٨}\,\text{ه}\,\text{ل}^{٢}$$

التى فيها ع رمز لعزم الانحناء الاعظم ما يمكن ، ه لمقدار الثقل الموزع بانتظام على المتر الطولى ، ل رمز لطول العتب يجب مقدار ع فيكون ع = ٢٠٨٠٠

ثم يوضع مقدار ع هذا فى معادلة

$$\text{ع} = \frac{٢\,\text{م}\,\text{ك}}{\text{هـ}}$$

التى فيها م = ٨ × ١٠

التى فيها م = ٨×١٠^{٥} بالنسبة للخشب ، هـ = ٠٫٦٠ متر ، ك رمز لعزم قصور قطاع العتب الذى هو هنا مستطيلى كما فى شكل ٢ فيكون

$$٢٠٨٠٠ = \frac{٢ \times ٨ \times ١٠^{٥} \times \text{ك}}{٠٫٦٠} = \frac{١٦ \times ١٠^{٦} \times \text{ك}}{٦}$$

ومنها $\text{ك} = \frac{٢٠٨٠٠ \times ٦}{١٦ \times ١٠^{٦}} = ٠٫٠٠٧٨$

وحيث ان $\text{ك} = \frac{١}{١٢}\,\text{ب}\,\text{هـ}^{٣} = \frac{٠٫٢١٦}{١٢}\,\text{ب}$

فيكون $\text{ب} = \frac{٠٫٠٠٧٨ \times ١٢}{٠٫٢١٦} = \frac{٧٫٨ \times ١٢}{٢١٦}$ أو

$$\text{ب} = ٠٫٤٣ \text{ متر}$$

ش ٢

وهذا المقدار الأخير هو بالنسبة للاربعة اعتاب المتوسطة كما ذكر اعنى عرض كل منها يساوى ٤٣ر متر وأما بالنسبة لكل من العتبين المتطرفين فيكون العرض اقل من ذلك حيث ان كلا منهما حامل للتورورتوارات فقط تقريبا وحيث أن الحمل العارضى على التورتوارات هو ٣٠٠ كيلوجرام على المتر المربع فيكون الحمل الكلى الموزع بانتظام بالنسبة للمتر الطولى هو لكل من العتبين المتطرفين المذكورين هو ٩٠٠ كيلوجرام أو لزيادة الأمنية ١٠٠٠ كيلوجرام حيث أن السعة المحمولة تساوى ١٠٫١ متر وحينئذ يكون

$$\text{ع} = \frac{١}{٨}\,\text{ه}\,\text{ل}^{٢} = ٨٠٠٠$$

$$٨٠٠٠ = \frac{٢ \times ٨ \times ١٠^{٥} \times \text{ك}}{٠٫٦} = \frac{١٦ \times ١٠^{٦}}{٦} \times \text{ك}$$ أو

$$\text{ك} = \frac{٨٠٠٠ \times ٦}{١٦ \times ١٠^{٦}} = ٠٫٠٠٣$$ وعليه يكون

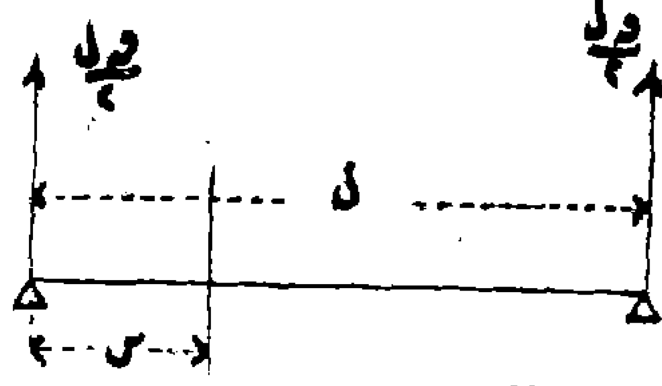
$$٠٫٠٠٣ = \frac{١}{١٢}\,\text{ب}\,\text{هـ}^{٣} = \frac{٠٫٢١٦}{١٢}\,\text{ب}$$ أو

$$ب = \frac{١٢ \times ٠ر٠٠٣}{٠ر٢١٦} = \frac{٣٦}{٢١٦} = ٠ر١٧ \text{ متر}$$

أعنى عرض كل من العتبين المتطرفين يساوى ٠ر١٧ متر

ومن حيث أن عزم الانحناء فى اى نقطة متباعدة عن احدى نقطتى الارتكاز بالبعد س (شكل ٣) يعلم من المعادلة

$$ع = \frac{و ل}{٢} س - \frac{و س^{٢}}{٢}$$



وكان الحمل القاطع هو المشتقة برتبة أولى لعزم الانحناء فاذا رمز له بحرف ح يكون

$$ح = \frac{و ل}{٢} - و س = و \left(\frac{ل}{٢} - س\right)$$

ومن هذه المعادلة يرى أن اعظم مقدار للحمل القاطع يكون فى نقطتى الارتكاز ومقداره $\frac{و ل}{٢}$

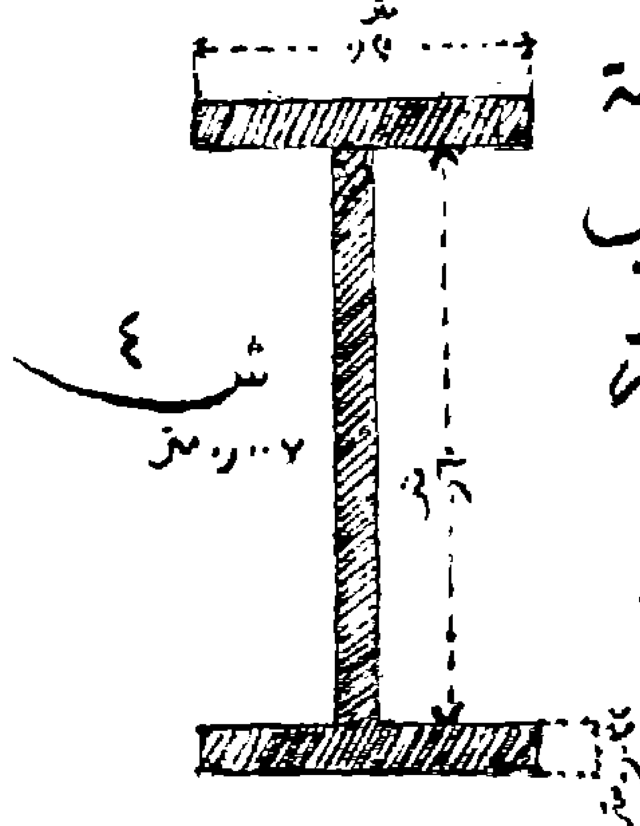
وحينئذ يلزم أن يكون قطاع أحد الاعتاب المتوسطة محققا للحمل القاطع وكذلك قطاع أحد العتبين المتطرفين وحيث ان قطاع أحد الاعتاب المتوسطة يساوى ٠ر٦٠٠ متر × ٠ر٤٣٠ متر = ٢٥٨٠٠٠ مليمتر مربع وكان معامل مقاومة الخشب يساوى ٠ر٨ كيلوجرام بالنسبة للمليمتر المربع فيكون مقاومة القطاع المذكور مساوية الى ٢٠٦٤٠٠ كيلوجرام وهى اكبر بكثير عن مقدار الحمل القاطع وهو $\frac{و ل}{٢}$ = ١٠٤٠٠ كيلوجرام وكذا بالنسبة لاحد العتبين المتطرفين فأن مقدار القطاع لأحدهما هو

٠ر٦٠٠ متر × ٠ر١٧٠ متر = ١٠٢٠٠٠ مليمتر مربع ويقاوم الى ٨١٦٠٠ كيلوجرام وهذا المقدار اكبر بكثير ايضا عن الحمل القاطع بالنسبة للعتب المتطرف وهو $\frac{و ل}{٢}$ = ٤٠٠٠ كيلوجرام

ويفهم من ذلك ان قطاعات جميع الاعتاب محققة وزيادة للحمل القاطع وعليه فتكون موافقة لحل المسألة وقد قطع النظر فى الحساب عن ثقل العتب حيث أنه قليل بجانب كل من الحمل المستديم والحمل العارضى

فى حساب قنطرة من الحديد ذات فتحة واحدة

باعتبار ان القنطرة المذكورة تتركب من عتبين اصليين فقط من الحديد على شكل ضعف حرف T فحسابها يرجع الى حساب أحد العتبين المذكورين فاذا فرض مثلا أن طول أحد العتبين ٦ر٠ متر وارتفاعه ٠ر٦ متر وان سمك البدن أو الروح يساوى ٠ر٠٠٧ متر وأن عرض كل من الراسين يساوى ٠ر٢ متر كما فى شكل ٤



وكان المطلوب حساب سمك كل من الراسين المذكورين بعد معلومية ان معامل مقاومة الحديد = ٦ كيلوجرام على المليمتر المربع وأن الحمل الثابت بالنسبة للمتر الطولى من العتب يساوى ١٢٠٠ كيلوجرام بما فيه ثقله بالتقريب وأن الحمل العارضى بالنسبة للمتر الطولى هو ٩٠٠ كيلوجرام

مثلا يقال أنه فى هذه الحالة يكون الحمل الكلى منه بالنسبة للمتر الطولى هو ٢١٠٠ كج وبالنسبة للعتب بتمامه هو ١٢٦٠٠ كيلوجرام

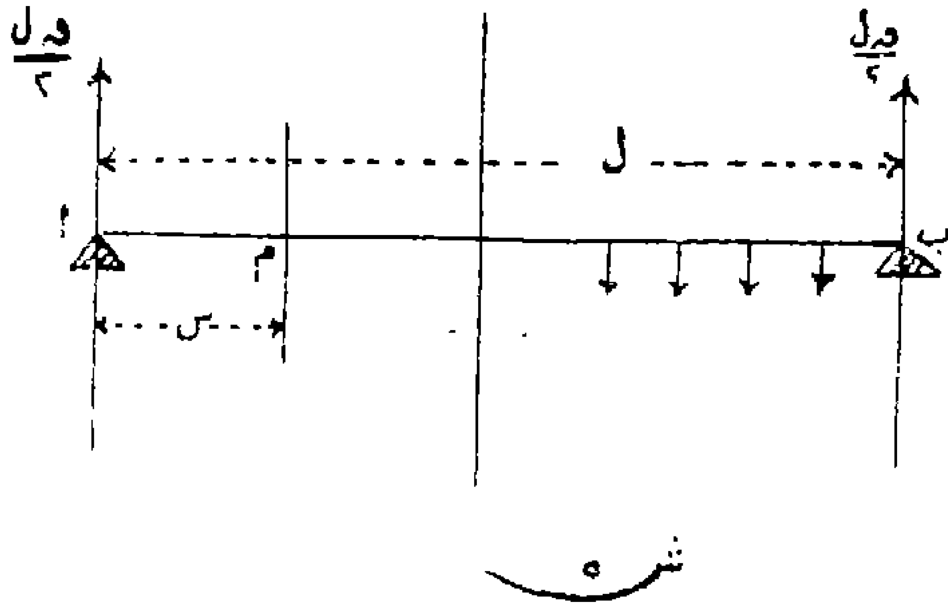
وحيث ان القوة القاطعة تكون اعظم ما يمكن على نقطتى الارتكاز فتكون مساوية لنصف الحمل الكلى

أعني مساوية الى ٦٣٠٠ كيلوجرام

وعزم الانثناء ع في نقطة مثل م شكل ٥ متباعدة عن نقطة ١ بالبعد س يكون معينا بالمعادلة

$$ع = \frac{ف ل}{٢} س - \frac{ف س^{٢}}{٢} = \frac{ف س}{٢} (ل - س)$$

وهذا العزم يكون نهاية عظمى حينما يكون س = $\frac{١}{٢}$ ل أعني في وسط العتب



وحينئذ على بعد ١٫٠٠ متر من نقطة ١ يكون

ع = ٥٢٥٠ وعلى بعد ٢٫٠٠ متر يكون

ع = ٨٤٠٠ وعلى بعد ٣٫٠٠ متر يكون

ع = ٩٤٥٠

وهذه الثلاثة رأسيات كافية لرسم المنحنى المكافئ البياني للعزم

وقطاع العتب يتعين بالقانون

$$م = \frac{ع ه}{٢ ح}$$

الذي يلزم ان يجعل فيه م = ٦٠٠٠٠٠٠ = ٦ × $١٠^{٦}$ ، $\frac{ه}{٢}$ = ٠٫٣٠ ، ع = ٩٤٥٠ ومنها يحدث

$$ح = \frac{٩٤٥٠ × ٠٫٣}{٦ × ١٠^{٦}} = \frac{٩٤٥}{٢ × ١٠^{٦}} = ٠٫٠٠٠٤٧٢٥$$

ولكن عزم قصور الروح هو تقريبا $\frac{١}{١٢} × ٠٫٠٠٧ × ٠٫٦^{٣}$ = ٠٫٠٠٠١٢٦ وحينئذ يكون عزم قصور مجموع الرأسين هو ٠٫٠٠٠٣٤٦٥

حينئذ اذا رمز بحرف س لسمك كل من الرأسين المذكورين يكون مساحة كل منها هو ٠٫٢ س وعزم قصورهما يكون

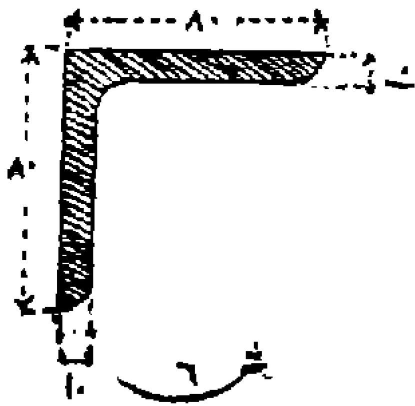
٢ × ٠٫٢ س × $٠٫٣^{٢}$ = ٠٫٠١٠٨ س ومنها يحدث

$$س = \frac{٠٫٠٠٠٣٤٦٥}{٠٫٠١٠٨} = ٠٫٠٣٢ \text{ متر}$$

وحينئذ يكون سمك كل من الرأسين ٠٫٠٣٢ متر

فاذا أريد تركيب الرأسين المذكورين من زوايا وصفائح من الصاج المبرشم مع بعضه أو المبرشم أيضا على البدن المكون من الصاج أيضا فيستعمل مثلا كما في شكل ٦ زوايا $\frac{٨٠ × ٨٠}{١٠}$ وكل زاوية يكون سطحها ٠٫٠٠١٥ والجزء المتوسط لهذا السطح هو تقريبا على بعد ٠٫٢٥ متر من المحور العرضي للعتب بحيث

يكون عزم قصور الاربعة زوايا مجتمعة مع بعضها هو



٤ × ٠٫٠٠١٥ × $٠٫٢٥^{٢}$ = ٠٫٠٠٠٠٩٣٧٥

ولا يبقى سوى البحث في الرأسين عن عزم قصور يكون مساويا الى (٠٫٠٠٠٣٤٦٥ - ٠٫٠٠٠٠٩٣٧٥) أعني مساويا الى

٠٫٠٠٠٢٥٢٥٥

وحينئذ يعين السمك س لكل من الرأسين من القانون

$$س = \frac{٠٠٠٠٤٥٢٥٥ر٠}{٠٠١٠٨ر٠} = ٠٢٤ر٠ \text{ متر}$$

وحينئذ فيمكن ان تكوّن كل رأس من لوحين من الصاج سمك كل منهما ٠١٢ر٠ متر ومن ثلاثة الواح سمك كل منها ٠٠٨ر٠ متر كما في شكل ٧

ومزية تكوين العتب من الواح من الصاج ومن زوايا هي عدم الاضطرار الى مد الواح الرأس بطول العتب بتمامه وحيث أن عزم الانثناء آخذ في النقص ابتداء من وسط العتب لغاية نهايتيه اللتين ينعدم فيهما فينبغي تقصير الواح الرأسين على التوالي من الوسط الى حد معين وهاك بيان ذلك

أن الروح والزوايا واللوح الأول الذي سمكه ٠٠٨ر٠ متر ينتج عنها معا عزم قصور

$$١٢٦٠٠٠ر٠ + ٠٠٠٠٩٣٧٥ر٠ + ٠٠٠٠٨٤١٨ر٠ = ٠٠٠٣٠٣٩٣ر٠$$

وعزم القصور هذا كاف لان يتزن مع عزم انثناء $ع = \frac{٢م ك}{هـ} = ٦٠٧٨$

ولنفرض أن الروح والزوايا واللوح الأول تمتد بطول العتب بتمامه وعزم الانثناء المقابل لذلك يكون مبينا في كل نقطة بالرأسي لمستطيل ام ىه ب شكل ٨ الدال على العدد ٦٠٧٨ مقدرا بالمقياس وحيث أن عزم قصور اللوح الثاني من الرأسين هو ٠٠٠٨٤١٨ر٠ ويقابل لعزم انثناء

$$ع = \frac{٢م ك}{هـ} = ١٦٨٦$$

الذي بتقديره بالمقياس يكون مبينا بالمستطيل م ىه ك ى وبالمثل يكون اللوح الثالث مقابلا لعزم انثناء مبين بالمستطيل ى ك ح ط المساوي للأول فاذا مدت الثلاث الواح بطول العتب بتمامه فانه يمكن ان يقاوم في كل قطاع عزم كسر مقدرا بالرأسي الثابت لمستطيل ا ط ح ب لكن لا يحتاج الأمر لوجود هذه الزيادة من القوة حيث يكفي أن العتب يلزم أن يقاوم عزم انثناء مقدرا بالاحداثي الرأسي للقطع المكافئ وحينئذ فيمكن أن يحذف من المستطيل العمومي كل ما كان خارجا عن القطع المكافئ المذكور وفي الحقيقة لا يلزم حذف جميع ما كان خارجا على التمام حيث أنه يقتضي قطع الالواح الصاج من اطرافها على الزاوية القائمة وليس بالانحراف مع تمديد الالواح على التوالي على بعد



شـ ٧



شـ ٨

قليل من القطع المكافئ وحينئذ في الحالة التي نحن بصددها يكون طول اللوح الابعد ما يكون ٣,٠٠ متر والثاني ٤,٠٠ متر وأما من جهة اللوح الأخير فانه يمتد بطول العتب بتمامه وكذلك الروح والزوايا

في حساب قنطرة من الحديد ذات أربعة فتحات

باعتبار أن القنطرة المذكورة تتركب من عتبتين اصليتين فقط من الحديد على شكل ضعف حرف T فحسابها يرجع الى حساب أحد العتبتين المذكورين ولذلك يقال اذا كان المطلوب حساب عتب ذي أربع فتحات منها الفتحتان المتطرفتان سعة كل منهما ٤٠,٠٠ مترا والفتحتان المتوسطتان سعة كل منهما ٥٠,٠٠ مترا

بفرض أن الحمل العارضي الثابت مقداره ٢٠٠٠ كيلوجرام على المتر الطولى وأن الحمل العارضي المتحرك مقداره ٢٠٠٠ كيلوجرام بالنسبة للمتر الطولى كذلك فنرمز بالرموز ع، عَ، عً كما في شكل ٩ لعزم الانحناء على الأكتاف المتوسطة أي المحصورة بين الكتفين المتطرفين مع ملاحظة ان عزمي الانحناء على الكتفين المتطرفين معدومان ثم نطبق نظرية العزم المذكورة ونجعل فيها $\text{ل}_1 = \text{ل}_4 = 40$ متر، $\text{ل}_2 = \text{ل}_3 = 50$ متر

فأولا تأثير الحمل الثابت أي المستديم - ولنختبر ابتداء تأثير الحمل الثابت الموزع بانتظام على طول القنطرة وحينئذ يلزم أن نجعل في القوانين

$$\text{ق}_1 = \text{ق}_2 = \text{ق}_3 = \text{ق}_4 = 2000 \text{ كجرام}$$

ش ٩

وحينئذ بتطبيق المعادلة العمومية التي هي

$$\text{ع}_{\text{م}-1}\,\text{ل}_{\text{م}} + 2\,\text{ع}_{\text{م}}(\text{ل}_{\text{م}} + \text{ل}_{\text{م}+1}) + \text{ع}_{\text{م}+1}\,\text{ل}_{\text{م}+1} = -\tfrac{1}{4}\,\text{ق}_{\text{م}}\,\text{ل}_{\text{م}}^3 - \tfrac{1}{4}\,\text{ق}_{\text{م}+1}\,\text{ل}_{\text{م}+1}^3$$

على عتب ذي اربع فتحات تنتج الثلاث معادلات الآتيه

$$2\text{ع}(40 + 50) + \text{عَ} \times 50 = -\tfrac{1}{4} \times 2000\,(40^3 + 50^3) \quad \text{و}$$

$$\text{ع} \times 50 + 2\text{عَ}(50 + 50) + \text{عً} \times 50 = -\tfrac{1}{4} \times 2000\,(50^3 + 50^3) \quad \text{و}$$

$$\text{عَ} \times 50 + 2\text{عً}(50 + 40) = -\tfrac{1}{4} \times 2000\,(50^3 + 40^3)$$

وبالتحليل مع الاختصار يحدث

$$18\text{ع} + 5\text{عَ} = -10000 \times 945 \quad \text{و}$$

$$\text{ع} + 4\text{عَ} + \text{عً} = -10000 \times 250 \quad \text{و}$$

$$5\text{عَ} + 18\text{عً} = -10000 \times 945$$

وحل هذه المعادلات الثلاث سهل حيث أنه يكفي استخراج ع، عً من المعادلة الأولى والثالثة بدلالة عَ ووضع مقدارها في المعادلة الثانية واستخراج عَ منها لكن لاتباع الطريقة العمومية نضرب المعادلة الأخيرة في واحد والثانية في ى والأولى في ىَ ثم نجمع هذه المعادلات على بعضها طرفا بطرف فيحدث

$$\text{ع}(18\text{ىَ} + \text{ى}) + \text{عَ}(5\text{ىَ} + 4\text{ى} + 5) + \text{عً}(\text{ى} + 18) = -10000\,(945\text{ىَ} + 250\text{ى} + 945) \quad \ldots\ldots(1)$$

ولأجل تعيين ى، ىَ نساوى كلا من معاملي ع، عً بصفر فيحدث

١٨ یَ + ی = ٠ ، ی + ١٨ = ٠

ومنها يحدث ی = -١٨ ، یَ = ١

وبوضع مقداری ی ، یَ فی معادلة (١) واجراء العمل ينتج مقدار عَ وبوضعه فی المعادلة الأولى والأخيرة من الجملة الأصلية ينتج مقدارا ع ، عً وحينئذ يكون

ع = عً = -٤٠٨٠٦٥ و

عَ = -٤٢٠٩٦٥

ولنبحث الآن عن تعيين المنحنيات الدالة على عزم الانحناء فی كل فتحة من فتحات العتب كما فی اشكال ١٥٠ ، ١٦ ، ١٧ على التوالى ولأجل ذلك نقول أنه بالنسبة لفتحة نمرة ترتيبها فأن العزم ع‌س لقطاع س من هذه الفتحة [التى فيها س محسوب من نقطة أصل الفتحة] يبين بالقانون الآتى وهو

ع‌س = (م‌ع١ (ل‌م - س) + م‌ع٢ س) / ل + ½ ث‌م س (ل‌م - س) ...... (٢)

الفتحة المتطرفة — بالنسبة للفتحة المتطرفة شكل ١٥ يلزم أن يجعل فی القانون المذكور

م‌ع١ = ٠ ، ل‌م = ٦٤٠ ، ع‌م = ع = -٤٠٨٠٦٥ ، ث‌م = ٢٠٠٠ فيؤول الى

ع‌س = ٢٩٧٩٨ س - ١٠٠٠ س٢

والقطع المكافئ المدلول عليه بهذه المعادلة يقطع محور السينات أعنى أن عزم الانحناء ينعدم بالنسبة للمقادير س = ٠ ، س = ٢٩٫٨ والمماس الافقى يقابل بداهة المقدار س = ٢٩٫٨/٢ = ١٤٫٩ متر ويكون المقدار المقابل لعزم الانحناء حينئذ مساويا الى ٢٢٠٩٩٫٠٠ وهذه المعاليم كافية لرسم القطع المكافئ البيانى بكل ضبط لعزم الانحناء التى تكون واحدة فی كلا الفتحتين المتطرفتين ويرى أن عزم الانحناء ينعدم فی نقطة الأصل ويكون موجبا لغاية ٢٩٫٨٠ متر وآخذا فی التزايد من الابتداء لغاية ١٤٫٩٠ متر ثم يأخذ فی النقص بعد ذلك وينعدم على بعد ٢٩٫٨٠ متر وبعد ذلك يصير سالبا ويأخذ فی التزايد بالاستمرار لغاية نقطة الارتكاز ويرى من ذلك أن قطاع العتب على بعد ٢٩٫٨٠ متر من نقطة الأصل يلزم أن يكون معدوما نظريا ولكن على الأقل يلزم ان يكون كافيا لمقاومة الحمل القاطع

الفتحتان المتوسطتان — فی الفتحتين المتوسطتين شكل ١٦ المنحنيان البيانيان لعزم الانحناء متحدان بسبب حصول التماثل ويكفى حساب أحدهما فقط وحينئذ يجعل فی قانون (٢)

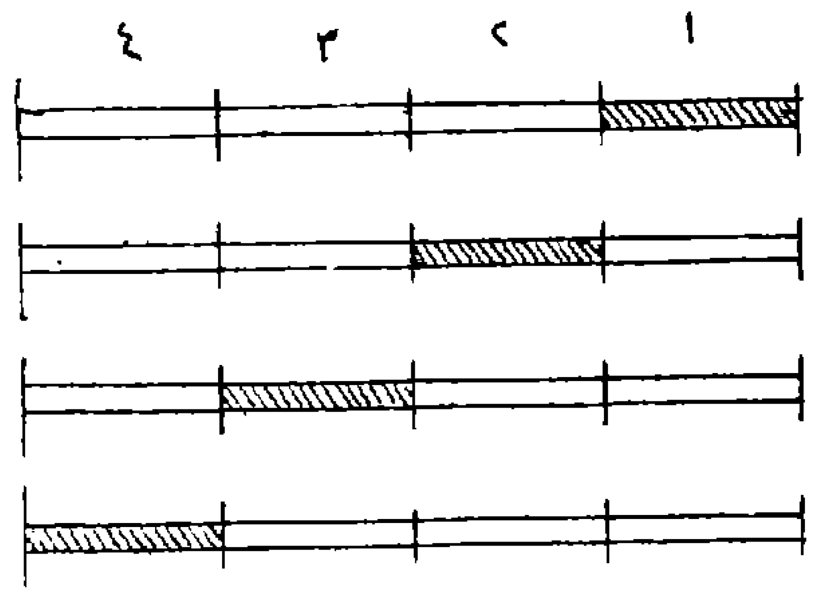
م‌ع١ = ع = -٤٠٨٠٦٥ ، ل‌م = ٥٠ ، ع‌م = -٤٢٠٩٦٥ ، ث‌م = ٢٠٠٠

فيؤول الى ع‌س = -٤٠٨٠٦٥ + ٤٩٧٤٢ س - ١٠٠٠ س٢

والقطع المكافئ المدلول عليه بهذه المعادلة يقطع محور السينات على بعدى ١٠٫٥٣ متر ، ٣٨٫٩٥ متر من أحد الكتفين والمماس الافقى المقابل لعزم الانحناء الموجب الاعظم ما يمكن يقابل المتوسط العددى للعددين المذكورين أعنى يقابل العدد ٢٤٫٧٤ متر وحينئذ يكون مقدار العزم المذكور هو ١٩١٤٧٧ وهذه المعاليم كافية لرسم المنحنى المكافئ بالتمام كما هو مشاهد من شكل ١٦ وما أجريناه لغاية هنا من الحسابات هو بخصوص الحمل المستديم أى الثابت

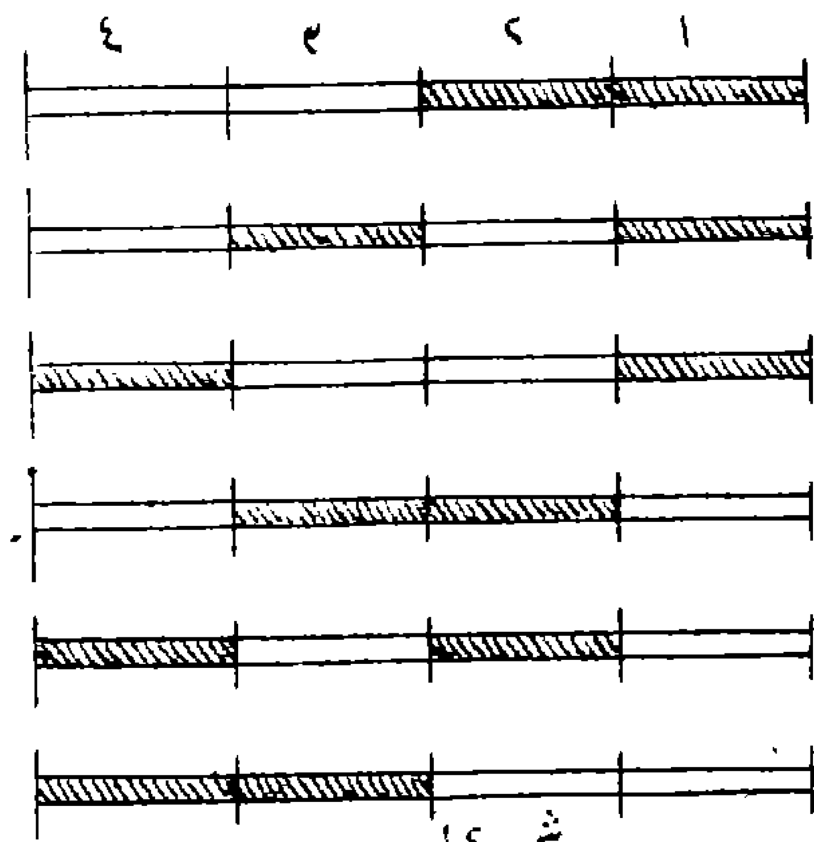
وثانيا

وثانيا تأثير الحمل العارضى المتحرك – حيث أن الحمل العارضى هو ٢٠٠٠ كيلوجرام وأن الفتحة الواحدة يلزم ان تكون محملة بالكامل بخلاف الفتحات المتعددة فانها قد تكون محملة بالانفراد أو مثنى أو ثلاث أو الأربعة معا فيلزم معرفة كل قطاع من العتب بالنسبة لتوافيق الحمل الاعظم خطرا ولمعرفة عدد التوافيق المذكورة نقول أنه يمكن تحميل كل فتحة على حدتها وحينئذ ينتج عن ذلك أربعة توافيق كما فى شكل ١١ التى تؤول الى اثنين بسبب التماثل



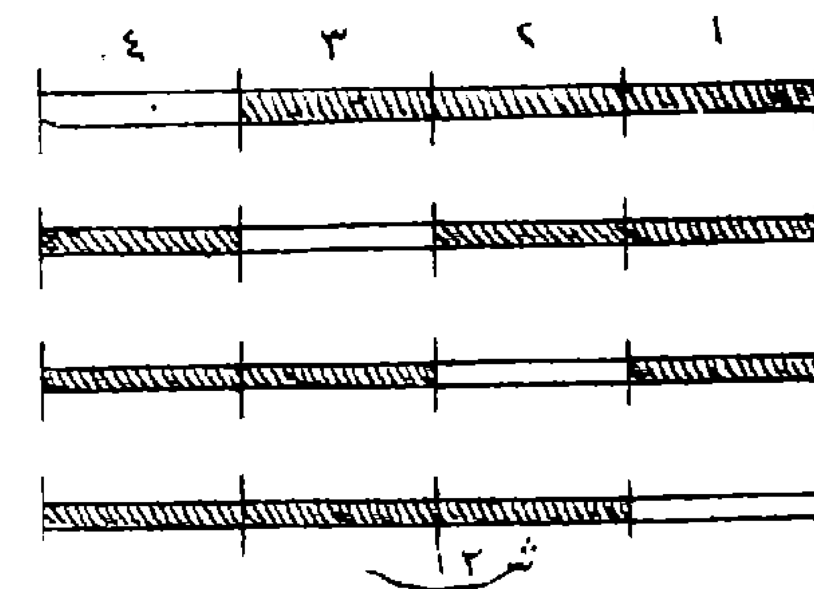
ش ١١

ثم يلزم تحميل الفتحات مثنى فينتج التوافيق (١،٢) ، (١،٣) ، (١،٤) ، (٢،٣) ، (٢،٤) ، (٣،٤) كما فى شكل ١٢ التى تؤول الى اربع حالات فقط حيث أن الحالتين الاخيرتين مكررتان



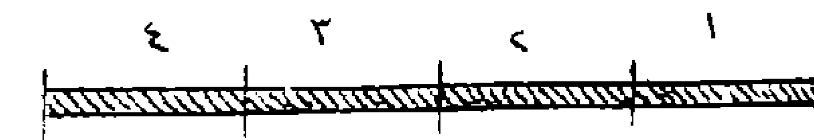
ش ١٢

ثم يلزم تحميل الفتحات ثلاث فينتج التوافيق (١،٢،٣) ، (١،٢،٤) ، (١،٣،٤) ، (٢،٣،٤) كما فى شكل ١٣ التى تؤول الى اثنين حيث أن الحالتين الاخيرة والأولى متحدتان والحالتين المتوسطتين هما متحدتان كذلك



ش ١٣

ثم يلزم تحميل الفتحات جميعها معا فينتج عن ذلك توفيق واحد فقط كما فى شكل ١٤ وحينئذ فيحدث تسعة توافيق مختلفة ومن الصعب تكرار الحساب بالنسبة لكل منها والأحسن تسهيل العمل باستعمال الطريقة الرسمية لبعض الحالات فنعتبر ابتداء الحمل على فتحة واحدة تماما فينتج عندنا توفيقان كما ذكر فلحساب عزم الانحناء فيها نجرى العمل كما يأتى



ش ١٤

التوفيق الأول – الحمل على الفتحة الأولى – حيث ان مقدار الحمل العارضى ٢٠٠٠ كيلوجرام فنستعمل نظرية العزم ونقطع النظر عن الحمل المستديم الذى سبق اختباره على حدته وحينئذ يلزم ان نجعل فى القانون $ق_{١} = ٢٠٠٠$ وكل من $ق_{٢}$ ، $ق_{٣}$ ، $ق_{٤}$ مساويا للصفر فتحدث الثلاث معادلات الآتية لعزم الانحناء ع١ ، عَ ، عً فى نقط الارتكاز وهى

$$٢ع_{١}(٤٠+٥٠) + عَ \times ٥٠ = -\frac{١}{٤} ق_{١} ل_{١}^{٢} = -\frac{١}{٤} \times ٢٠٠٠ \times ٤٠^{٢}$$ و

$$ع_{١} \times ٥٠ + ٢عَ(٥٠+٥٠) + عً \times ٥٠ = ٠$$ و

$$عَ \times ٥٠ + ٢عً(٥٠+٤٠) = ٠$$

ويستنتج من هذه الثلاث معادلات أن

$$ع_{١} = -١٩٢١١٠٠ \quad ، \quad عَ = +٥١٦١٠ \quad ، \quad عً = -١٤٣٣٥$$

ثم من قانون (٢) تحسب عزم الانحناء فى النقط المختلفة من كل فتحة كما تقدم وحينئذ يكون بالنسبة للفتحة الأولى

ع م-١ = ٠ ، ع م = -١٩٢١١٠ ، ل م = ٤٠ ، ح م = ٢٠٠٠

وبناء على هذه المعالم فأن قانون (٢) يؤول بعد اجراء الحساب الى

ع س = ٣٥١٩٧ س - ١٠٠٠ س٢

وهذه المعادلة تدل على قطع مكافئ ينعدم الأحداثى الرأسى لها بالنسبة الى س = ٠ ، س = ٣٥٫١٩ متر والمماس الافقى أو عزم الانحناء الموجب الاعظم ما يكن يقابل النقطة التى فيها س = ٣٥٫١٩ متر / ٢ = ١٧٫٦٠ متر

ويكون ع س = ٢٩٩٧٠٧

وهذه النتائج كافية لرسم القطع المكافئ الموضح فى شكل ١٥

وبالنسبة للفتحة الثانية

ع م-١ = -١٩٢١١٠ ، ع م = ٥١٦٦٠ ، ل م = ٥٠ ، ح م = ٠

وبناء على هذه المعالم فأن قانون (٢) يؤول الى

ع س = -١٩٢١١٠ + ٤٨٧٦ س

وهذه المعادلة تدل على خط مستقيم يقطع محور السينات فى نقطة بعدها س = ٣٩٫٤٠ متر يمكن رسمه بالسهولة حيث أنه يكفى أن يوصل بين نهايتى العزمين ع ، عَ

وبالنسبة للفتحة الثالثة يقال

حيث أن المنحنى البيانى للعزم خط مستقيم أيضا فى هذه الفتحة وان هذا الخط هو الواصل بين نهايتى العزمين لنقطتى الارتكاز عَ ، عً فلا يلزم كتابة معادلته

وبالنسبة للفتحة الرابعة

فأن منحنى العزم هو المستقيم الواصل بين النهاية عً وبين مبدأ العتب

وما ذكرناه هو بخصوص جميع منحنيات العزم الناتجة من تحميل الفتحة الأولى بالحمل العارضى وأما المنحنيات الناتجة من تحميل الفتحة الرابعة فهى مساوية للمنحنيات السابقة ولكنها موضوعة بعكس المنحنيات المذكورة كما هو واضح من شكل ١٥

الترفيق الثانى - الحمل على الفتحة الثانية - حيث ان الحمل العارضى هو ٢٠٠٠ كيلوجرام فنستعمل ايضا نظرية العزم ونقطع النظر عن الحمل المستديم الذى سبق اختباره على حدته وحينئذ يلزم أن يجعل فى القانون كل من ح١ ، ح٣ ، ح٤ مساويا للصفر ، ح٢ = ٢٠٠٠ فتحدث الثلاث معادلات الآتية بالنسبة لعزم الانحناء ص ، صَ ، صً فى نقط الارتكاز وهى

١٨ ص + ٥ صَ = - ٥٠^٤ و

ص + ٤ صَ + صً = - ١٠ × ٥٠^٣ و

٥ صَ + ١٨ صً = ٠

ومن

ومن هذه المعادلات الثلاث ينتج أن

ص = -٢٧٤٣٦٫٠٠ ، صَ = -٦٢٠٩٧٫٢ ، صً = ٧٫٨٦٠

وبناء على هذه المقادير فإنه يمكن أن يستخرج من قانون (٢) مقدار عزم الانحناء في النقط المختلفة من كل فتحة

الفتحة الاولى - الخط البيانى لعزم الانحناء هو المستقيم الواصل من نهاية العتب الى نهاية العزم السالب ص

الفتحة الثانية - م ع١ = -٢٧٤٣٦٫٠ ، ع٢ = -٦٢٠٩٧٫٢ ، ل/م = ٥٠ ، ن/م = ٢٠٠٠

وبواسطة هذه المعاليم فان معادلة (٢) تؤول الى

ع س = -١٠٠٠ س٢ + ٥٠٤٥ س - ٢٧٤٣٦٠

وهذه المعادلة تدل على قطع مكافئ احداثياته الرأسية تنعدم بالمقدارين

س = ٦٫٢٣ متر ، س = ٤٤٫٠١ متر

والمماس الافقى أو عزم الانحناء الاعظم ما يمكن يقابل النقطة التى فيها س = ٢٥٫١٢ متر

ويكون حينئذ عزم الانحناء مساويا الى ٣٥٦٦٤٠

وهذه المقادير كافية لرسم القطع المكافئ المبين فى شكل ١٥

الفتحة الثالثة - الخط البيانى للعزم هو المستقيم الواصل بين نهايتى العزمين صَ ، صً

الفتحة الرابعة - المنحنى البيانى للعزم هو المستقيم الواصل من نهاية العزم صً الى مبدأ العتب

وما ذكرناه من التوفيق الثانى هو بخصوص جميع منحنيات العزم الناتجة من تحميل الفتحة الثانية بالحمل العارضى

وأما المنحنيات الناتجة من تحميل الفتحة الثالثة فهى مساوية للمنحنيات الناتجة من تحميل الفتحة الثانية لكنها موضوعة بعكسها كما هو مشاهد من الشكل ١٥

تحقيق مهم - الخطان المستقيمان الواصلان بين ص ، صَ وبين صَ ، صً يلزم ان يقابلا المحور الافقى فى نقطتى (ا ، ب) اللتين هما نقطتا تقابل المستقيمين الواصلين بين ع١ ، عَ وبين عَ١ ، عً ويجب تحقيق ذلك على الرسم

وهنالك ارتباطا عموميا حقيقيا مهما كان عدد الفتحات نذكره لتحقيق نتائج الحسابات فنقول

البحث عن عزم الانحناء الاعظم ما يمكن الموجبة والسالبة الناتجة من الحمل العارضى المتحرك - يرى من شكل ١٥ أنه يوجد فى كل نقطة عزم انحناء ناتج من الحمل العارضى لفتحة حيثما اتفقت وهذا يؤدى لوجود اربعة عزم مختلفة كل منها ينتج على حدته متى حملت الفتحة التابع لها ذلك العزم بمفردها لكن متى حمل أكثر من فتحة فى آن واحد فقد يوجد عزمان أو ثلاثة أو اربعة عزم فى آن واحد كذلك ويكون العزم الناتج من هذه العزم هو المجموع الجبرى

لكن من ضمن العزم الجزئية يوجد عزم موجبه وعزم سالبه بحيث ان عزم الانحناء الاعظم ما يمكن لا يقابل الحالة التى فيها تكون جميع الفتحات محملة فى آن واحد

والحمل العارضى يمكن ان يحدث فى كل نقطة عزمين كلاهما أعظم ما يمكن

احدهما موجب وهو عبارة عن حاصل جمع العزم الجزئية الموجبة
والثانى سالب وهو عبارة عن حاصل جمع العزم الجزئية السالبة
وحينئذ يرى أنه على اتجاه الخط الرأسى المار بنقطة الارتكاز نمرة ١ أن عزم الانحناء الاعظم ما يمكن الموجب يحصل متى كانت الفتحة الثالثة هى المحملة فقط ويساوى ٧٢٨٦٠
وأما من جهة عزم الانحناء الاعظم ما يمكن السالب فانه يحصل متى كانت الفتحة الأولى والثانية والرابعة محملة مع بقاء الفتحة الثالثة بدون تحميل والمقدار المطلق لهذا العزم الاعظم ما يمكن هو

١٤٣٣٠ + ١٩٢١١٠ + ٢٧٤٣٦٠

واذا اخذت الآن النقطة التى بعدها ٢١٫٢٥ فى الفتحة الثانية يرى ان عزم الانحناء الأعظم ما يمكن الموجب ينتج متى كانت الفتحة الثانية والفتحة الرابعة هما المحملتان فقط
وحينئذ فيفهم بالسهولة أنه بجمع الاحداثيات الرأسية على بعضها يمكن تكوين فى مدة قليلة منحنيى شكل ١٦ اللذين يعلم من أحدهما بالنسبة لكل نقطة عزم الانحناء الاعظم ما يمكن الموجبة ومن الثانى عزم الانحناء الاعظم ما يمكن السالبة المنسوبة جميعها للحمل العارضى وهذان المنحنيان المتحصلان بجمع رأسيات الخطوط المستقيمة مع رأسيات الخطوط المستقيمة أو القطاعات المكافئة تتركب من اقواس من قطاعات مكافئة ومن خطوط مستقيمة ونقط المرور فيها سهلة التعيين ومع ذلك فهى واضحة فى الرسم
البحث عن عزم الانحناء الاعظم ما يمكن الكلى فى كل نقطة - لايجاد عزم الانحناء الاعظم ما يمكن الكلى فى كل نقطة يلزم تشتيق الحمل الثابت مع الحمل العارضى أعنى ايجاد النتائج المتحصلة من شكل ١٠ ، شكل ١٦ معا ولكن نعلم أنه يوجد فى كل نقطة أولا عزم انحناء ع منسوب للحمل الثابت وثانيا عزم انحناء اعظم ما يمكن موجب الذى يمكن أن يحدثه الحمل العارضى وثالثا عزم انحناء اعظم ما يمكن سالب الذى يمكن ان يحدثه الحمل العارضى
فأما العزم ع فموجود دائما ولا يمكن تشتيقه اماما مع عَ واما مع عً وحينئذ فيكون المجموعان الجزئيان (ع+عَ) ، (ع+عً) فاكبرهما فى المقدار المطلق يدل على اكبر العزم الذى يمكن استنتاجه من الحمل الثابت المؤثر فى آن واحد مع جميع التوافيق الممكن تصورها للحمل العارضى
وبواسطة طريقة رسميه ابسط ما يكون التى هى عبارة عن ضم طولين على بعضهما يمكن حينئذ تكوين العزم الأعظم ما يمكن الكلية فى كل نقطة وحيث ان شدة الاحمال الناتجة من تأثير عزم انحناء على قطاع من العتب غير متعلقة باشارة العزم المذكور فحينئذ يمكن قطع النظر عن اشارة العزم الاعظم ما يمكن الكلى واعتبار مقداره المطلق فقط ثم يقام من كل نقطة من المحور الافقى احداثيات رأسية ويؤخذ عليها مقادير العزم المذكورة على التناظر ويكون حينئذ منحنى شكل ١٧
وحينئذ يقتضى عمل الانتخاب بين الحاصلين (ع+عَ) ، (ع+عً) لعزم الانحنا السالفة الذكر وهذا يودى الى نوع تجربه ولا يوصل الى الاقرار على العزم المطلوب اخذه بسهولة

لكن

عزم الانثناء العظمى المتحصله فى كل نقطه من الحمل المستديم والحمل العارضى متوفقين معا
توزيع الصاج
شكل ١٧
اللوح السابع
اللوح السادس
اللوح الخامس
اللوح الرابع
اللوح الثالث
اللوح الثانى
اللوح الاول من الصاج
عزم الانثناء المطابق للاربع زوايا
١
٢
٣
٤
شكل ١٦
عزم الانثناء العظمى الموجبه المنسوبة للحمل العارضى
عزم الانثناء العظمى السالبه المنسوبة للحمل العارضى

عزم الانثناء المنسوبة للحمل العارضي بالنسبه لكل فتحة على حدتها

شكل ١٥

عزم الانثناء المنسوبة للحمل المستديم

شكل ١٠

نكن بناء على ملحوظة المعلم بريس وهى

ان نهاية المقدار المطلق لعزم الانحناء بالنسبة لنقطة حيثما اتفقت من العتب تساوى حاصل جمع المقادير المطلقة للعزم الحاصلة فى هذه النقطة التى هى أولا بالنسبة لعزم الانحناء ع الناشئ عن الحمل الثابت وثانيا بالنسبة للعزمين النهائيين عَ وعً اللذين اشارتها عين اشارة العزم ع التى يمكن ايضاحها كما يأتى

وهو انه فى نقطة حيثما اتفقت من العتب فأن الحمل العارضى لبعض الفتحات يحدث عزما موجبة والحمل العارضى للفتحات الباقية يحدث عزما سالبة وأن أحد هذه الأحمال مكمل للآخر اعنى أنه اذا اعتبر وجودها فى آن واحد تكون جميع الفتحات محملة فى آن واحد وهذا بديهى

يكون عزم الانحناء الناتج من الحمل العارضى العمومى عبارة عن المجموع الجبرى لعزمى الانحناء الناتجين من حملين عارضين مكملين

ومن جهة أخرى فأن جميع عزم الانحناء تتغير بنسبة مقدار الحمل العارضى ف الموزع بانتظام بالنسبة للمتر الطولى وعلى هذا اذا رمز بحرف ف للحمل المستديم وبحرف فَ للحمل العارضى فأن الحاصل (عَ + عً) للعزم المنسوبة الى توفيقين مكملين للحمل العارضى يكون مساويا للعزم ع للحمل المستديم بحيث يضرب العزم المذكور فى النسبة $\frac{\text{ف}}{\text{فَ}}$ وحينئذ يكون

$$\text{ع} = (\text{عَ} + \text{عً})\,\frac{\text{ف}}{\text{فَ}} \quad \ldots\ldots\ldots\ (١)$$

وحينئذ نعرفة منحنى شكل ١٠ تكون ناشئة عن معرفة منحنى شكل ١٦ مباشرة بضرب حاصل الجمع الجبرى لاحداثيها فى النسبة $\frac{\text{ف}}{\text{فَ}}$ أو بطريقة عمومية يقال أنه بمعرفة منحنيين من الثلاثة منحنيات يمكن استنتاج الثالث منها ولكن الأحسن فى العمل انشاء الثلاثة منحنيات مباشرة واستعمال الارتباط السابق للتحقيقات

وأما من جهة المنحنى شكل ١٧ للعزم الأعظم ما يمكن الكلى فأنه يتحصل كما شاهدنا بأن يؤخذ فى كل نقطة الرأسى الذى يكون أكبر المجموعين (ع + عَ) ، (ع + عً) ولكن من الارتباط (١) يستنتج

$$\text{ع} + \text{عَ} = \text{عَ} + (\text{عَ} + \text{عً})\,\frac{\text{ف}}{\text{فَ}} \quad \ldots\ldots\ldots\ (٢)$$

$$\text{ع} + \text{عً} = \text{عً} + (\text{عَ} + \text{عً})\,\frac{\text{ف}}{\text{فَ}} \quad \ldots\ldots\ldots\ (٣)$$

والحاصل عَ + عً تكون اشارته عين اشارة عَ أو عً بحسب كون عَ اكبر أو أصغر من عً فى المقدار المطلق وحينئذ اذا كان عَ أكبر من عً فبقطع النظر عن الاشارة فأن (ع + عَ) يكون بالمثل أكبر من (ع + عً) لأنه فى المجموع (٢) الحدان متحدا الاشارة واحدهما مساو والآخر أكبر من حدى الحاصل (٣) اللذين فضلا عن ذلك فأنهما مختلفا الاشارة

ويرى بالبرهان عينه أنه اذا كان عً أكبر من عَ فى المقدار المطلق فأن (ع + عً) يكون أكبر من (ع + عَ)

وعليه فالقضية التى ذكرناها تكون مثبوتة

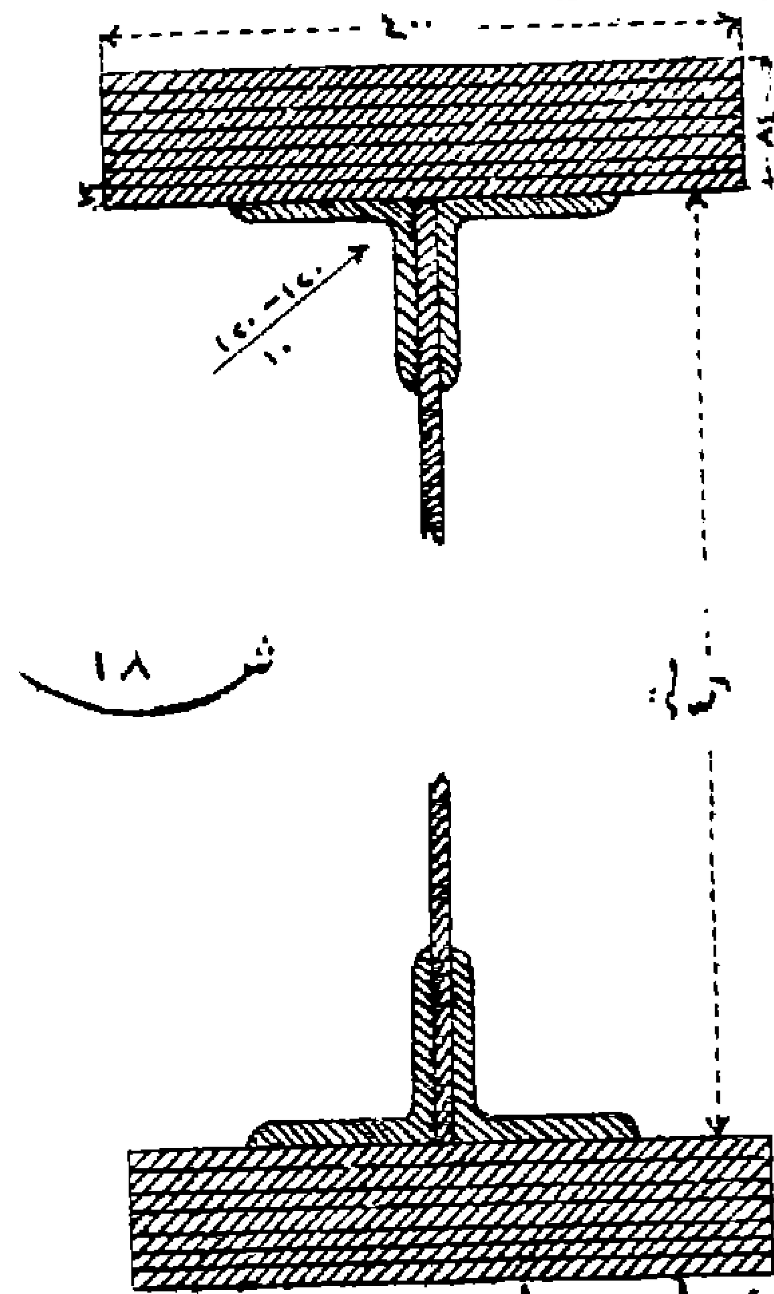
وحينئذ فانشاء منحنى العزم الكلية يكون سهلا ولنأخذ مثلا الفتحة الأولى

فنرى أنه من ابتداء الصفر لغاية ٨ر٢٩ متر شكل ١ عزم الانحناء النسبية للحمل المستديم موجبة وحينئذ يلزم اضافة الاحداثيات الرأسية الدالة عليها الى الاحداثيات الرأسية للمنحنى الأعلى شكل ١٦ وبالابتداء من ٨ر٢٩ متر الى

٤٠ متر أعنى على جميع الباقى من الفتحة فان عزم الانحناء المنسوبة للحمل المستديم سالبة ويلزم حينئذ اضافة الاحداثيات الرأسية الدالة عليها الى الاحداثيات الرأسية للمنحنى الأسفل شكل ١٦
ثم يجرى العمل على هذا المنوال بالنسبة لباقى الفتحات مع ملاحظة أن نقط تقاطع المنحنى المنسوب للحمل المستديم بالمحور الافقى هى المقابلة لنقط الانعكاس المشاهدة فى منحنى عزم الانحناء الكلية الموضح فى شكل ١٧

فى توزيع الصاج

حيث ان منحنى شكل ١٧ يدل فى كل نقطة على مقدار العزم الاعظم ما يمكن الكلى فبواسطته يمكن اجراء توزيع الصاج بكل سهولة كما أجريناه سابقا بالنسبة لعتب ذى فتحة واحدة
وقد سلم أنه بالنسبة للتوزيع الجيد للمعدن يلزم أن يكون ارتفاع العتب محصورا بين $\frac{١}{١٠}$ و $\frac{١}{١٢}$ من طوله ففى المثال الذى انتخبناه يمكننا أن نأخذ حينئذ عتبا ارتفاعه أربعة امتار شكل ١٨



وهذا العتب الذى على شكل ضعف حرف T يكون له روح أو بدن شبكى معدنى مرتبط من أعلا ومن أسفل بزاويتين ابعاد كل منهما $\frac{١٢٠\times١٢٠}{١٠}$ وهذا الرمز الاصطلاحى يدل على زوايا أحد جناحى كل منهما ١٢ر. متر والجناح الآخر ١٢ر. متر كذلك وسمكها ٠١ر. متر وعلى هاتين الزاويتين المرتبطتين معا بكل متانة ترتسم الواح من الصاج افقية عرض كل منها ٤٠ر. متر وسمك كل منها ٠١٢ر. متر وعدد الواح الصاج المذكورة متغير بحسب العزم الكلى المؤثر فى كل قطاع من العتب
وحينئذ يقتضى حساب عزم قصور الاجزاء المختلفة لعتب مكون بهذه الصورة
وابتداء لا يراعى مقاومة الروح التى القصد منها على الخصوص هو منع تقارب رأسى العتب من بعضهما بعضا
ولتعويض هذا الخطأ يفرض أن القطاع الكلى للزوايا موجود على بعد من محور الحمول مساو لنصف ارتفاع العتب

وهنا مساحة قطاع زاوية تساوى ٠٠٢٣ر.
ومساحة اربع زوايا تساوى ٠٠٩٢ر.
وعزم قصور قطاع هذه الزوايا يساوى لهذه المساحة مضروبة فى $(\frac{٤}{٢})^٢$ أو = ٠٣٦٨ر.
ومساحة قطاع لوح من الصاج عرضه ٤٠ر. متر وسمكه ٠١٢ر. متر هى ٠٠٤٨ر.
وعزم قصور قطاع لوحين مزدوجين يكون حينئذ ٠٣٨٤ر.
وبفرض تشغيل الحديد بمقدار ٦ كيلوجرام بالنسبة للميليمتر المربع فنستعمل القانون المعلوم وهو

$$م = \frac{ع\ هـ}{هـ٢}$$

ونجعل فيه م = ٦×$١٠^٦$ ، $\frac{هـ}{٢}$ = ٢ ، هـ = عزم قصور اربعة زوايا أو لوحين من الصاج فيرى أن الأربعة

الاربع زوايا كافية لأن تتزن بمقاومتها العنصرية مع عزم انحناء مقداره ٤٠٠ر٠٠ وان اللوحين من الصاج كافيات لأن يتزنا مع عزم قدره ٥٢٠ر٠٠

وحينئذ يؤخذ على شكل ١٧ بواسطة المقياس رأسي مساوٍ الى ٤٠٠ر٠٠ ثم نمد على التوالى بمقدار مساوٍ الى ٥٢٠ر٠٠ الى ان يتجاوز الرأسي الأعلا ما يكون من المنحنى ثم نمد من نهايات الرأسيات المتتابعة مستقيمات افقية فيرى أنه يلزم سبعة الواح من الصاج بالنسبة للرأس الواحدة بل ويلزم ثمانية الواح لأن الرأس الاعلى ما يكون للمنحنى تجاوز قليلا اللوح السابع الا أنه يكتفى بسبعة الواح حيث أن الرأس الأعلا ما يكون مسامتة لنقطة ارتكاز أعنى مسامتة لموضع فيه يجب تعويض الروح الشبكية بروح مصمتة

فاذا صار مد الزوايا والسبعة الواح الصاج بطول العتب بتمامه فأنه لاشك يتحقق من المقاومة لكن فى كثير من المواضيع يصير المعدن زيادة على أنه يكفى لحصول الامر أن يكون عزم المقاومة العنصرية للصاج فى كل نقطة زائدا قليلا عن عزم المقاومة الكلى المتحصل من تأثير القوى الخارجة

وهذا يؤدى الى القول بأنه يقتضى نظريا أن يكون المنحنى البيانى للعزم المطلوبة من المعدن مشتملا على المنحنى البيانى للعزم الكلية وقريبا منه ما أمكن

وحينئذ يمكن قطع لوح أو جملة الواح من الصاج فى المواضع التى لا يكون لوجودها فيها ضرورة وبهذه الكيفية يتحصل على وفر عظيم من المعدن

وبالتأمل فقط لشكل ١٧ يفهم جليا هذه الطريقة ويرى أن الأربع زوايا تمتد طبعا بطول العتب بتمامه وكذا اللوح الأول الصاج يمتد بطول العتب بتمامه واللوح الثانى يكون مقطوعا بمسافات خالية مقدارها ٢ متر و ٣ متر [الا أنه فى العمل لا يستعمل ذلك من غير شك] واللوح الثالث يكون مقطوعا بمسافات خالية مقدارها ٥ متر و ٦ متر واللوح الرابع يكون مقطوعا بمسافات خالية مقدارها ٧ متر و ٩ متر و ١١ متر واللوح الخامس لا يمتد الا بمقدار عشرة أمتار فى مسافة الثلاث نقط ارتكاز واللوح السادس يمتد بمقدار ٧ متر واللوح السابع يمتد بمقدار ٥٠ر٠ متر فقط

وهذا ليس الا مثالا نظريا ففى العمل يكون عدد الواح الصاج هذا كبيرا جدا ويجب تقليله بجعل ارتفاع العتب ٥٠ر٠ متر مع تكبير ابعاد الزوايا قليلا وجعل عرض كل من الرأسين ٥٠ر٠ متر

الحمل القاطع

لم نشتغل للآن فى هذا المثال بالحمل القاطع الذى يتغير من قطاع الى آخر ولا يتجاوز $\frac{٥}{٨}$ الثقل الكلى للفتحة أعنى انه لا يتجاوز ($\frac{٥}{٨}$ × ٥٠ × ٤٠٠٠) = ١٢٥٠٠٠ كيلوجرام

ولكن قطاع الأربع زوايا واللوح الأول من الصاج الممتد بطول العتب بتمامه هو ١٨٨٠٠ مليمتر مربع وحيث ان كل مليمتر مربع يمكن ان يشتغل بمقدار ٦ كيلوجرام فيكون حينئذ مقدار المقاومة هو ١١٢٨٠٠ ثم أن قطاع الروح اى البدن يؤدى زيادة مقدار المقاومة المكملة للحصول على ١٢٥٠٠٠ كيلوجرام

وكذا بناء على ما ذكره المعلم بريس من أن اعتبار الحمل القاطع أمر ثانوى وأن ضرورة مقاومة العتب لعدم تقارب

رأسيه من بعضها بعضا تستوجب اعطاء روحه صلابة كافية بحيث يكون العتب فيه الكفاية على مقاومة الحمل القاطع

ومع ذلك فمن السهل دائما تكوين منحنى الأحمال القاطعة الاعظم ما يمكن فى كل نقطة لأنه بالنسبة لكل منحنى من منحنيات عزم الانحناء التى رسمناها يوجد منحنى للاحمال القاطعة مقابل له وكان الحمل القاطع هو مشتقة عزم الانحناء فحينئذ اذا كان عزم الانحناء ناتجا من معادلة مثل

$$ع = د (س)$$

فان الحمل القاطع ينتج من المعادلة $ح = دَ (س)$

وحيث أن الدالة د (س) اما ان تكون قطعا مكافئا أو خطا مستقيما فالخط البيانى للحمل القاطع دَ (س) يكون خطا مستقيما مائلا على محور العتب أو موازيا للمحور المذكور وفى كلتا الحالتين رسم المنحنى البيانى للحمل القاطع سهل ويمكن اجراء العمل بطريقة مشابهة لما اجريناه فى عزم الانحناء كما يأتى

أولا ـ يعين منحنى الاحمال القاطعة المنسوبة للحمل المستديم

وثانيا ـ تعين منحنيات الاحمال القاطعة حينما تكون الفتحات محملة على التوالى

وثالثا ـ يعين منحنيا الاحمال القاطعة الاعظم ما يمكن الموجبة والسالبة

ورابعا ـ يعين اخيرا منحنيا الاحمال القاطعة الاعظم ما يمكن الكلية بتركيب الأحمال القاطعة المذكورة فى أولا وفى ثالثا مع بعضها كما فعلنا فى عزم الانحناء

وقد تركنا الاشتغال بتفصيل ذلك الى الطالب

وفيما ذكرناه من المسائل قد اشتغلنا فقط بحساب الاعتاب الأصلية وأما الاعتاب الثانوية بالنسبة للقناطر الحديدية وقطع الفطرة بالنسبة للقناطر الخشبية فقد تركنا الاشتغال بها الى الطالب حيث أن كلا منها عبارة عن عتب مرتكز على نقطتين فقط ومحمل بحمل موزع بانتظام ناتج من الحمل المستديم والحمل العارضى فى آن واحد وهذا الحمل يتعين مقداره بحسب ابعادها عن بعضها من محور الى آخر بناء على مقدارى كل من الحمل المستديم والحمل العارضى الاصليين

وهاك القوانين التى يحسب بها اسهم الانحناء لاعتاب القناطر

$$ف = \frac{٥}{٢٤} \times \frac{حه}{وك} \left(\frac{ل}{٢}\right)^{٤} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (١)$$

$$ف = \frac{١}{٢٤} \times \frac{حه}{وك} \left(\frac{ل}{٢}\right)^{٤} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (٢)$$

$$ف = \frac{١}{١١٫٥} \times \frac{حه}{وك} \left(\frac{ل}{٢}\right)^{٤} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (٣)$$

ففى هذه القوانين جميعها ف رمز لسهم الانحناء فى النقطة من العتب التى يكون فيها عزم الانحناء أعظم ما يمكن بين نقطتى الارتكاز سواء كان العتب مرتكزا عليها فقط بالحرية أو مثبتا فيهما أو مرتكزا على احديهما ومثبتا على الأخرى ، حه رمز للحمل الموزع بانتظام على المتر الطولى الناتج عن الحمل المستديم والحمل العارضى معا ، ل رمز لطول العتب بين نقطتى الارتكاز ان كان مرتكزا على نقطتين فقط أو بين نقط الارتكاز المتتالية

ان

ان كان مرتكزا على اكثر من نقطتين ا و رمز لمعامل المرونة ا ب رمز لعزم قصور قطاع العتب

وقانون (١) يستعمل فى حالة ما يكون العتب مرتكزا على نقطتين فقط بالاطلاق

وقانون (٢) يستعمل فى حالة ما يكون العتب مثبتا فى نقطتين فقط وفى حالة ما يكون مرتكزا على جملة نقط يستعمل أيضا لتعيين اسهم انحناء اجزائه المرتكزة على النقط المتوسطة أعنى اسهم انحناء فتحاته المتوسطة

وقانون (٣) يستعمل فى حالة ما يكون العتب مرتكزا على نقطة ومثبتا فى النقطة الأخرى وفى حالة ما يكون مرتكزا على جملة نقط يستعمل أيضا لتعيين سهمى انحناء الجزئين المتطرفين منه اعنى سهمى انحناء فتحتيه المتطرفتين

وعلى الطالب ان يحسب اسهم انحناء أعتاب الثلاث قناطر السابقة

فى الأسقف

الاسقف التى من الحديد — دراسة الاسقف الحديدية مهمة جدا بسبب ان استعمال الحديد منتشر جدا من يوم الى آخر فى انشائها وبسبب انه أيضا غال فى الثمن ثم أن الصلابة التى يسمح بها الحديد بالنسبة لجميع الاتساعات والأمن من الاحتراق هما السببان الاصليان لتفضيل الحديد عن الخشب فى عملية الاسقف

ورغما عن التقدم الحاصل فى صناعة الحديد فأن تكاليف الاسقف الحديدية تبلغ ضعف تكاليف الاسقف الخشبية تقريبا والسبب الذى كان مستعملا فى تركيب الاسقف الحديدية الا أن تحسين السحب واختراع الحدايد المخصوصة ذات القطاعات الكبيرة المقاومة جدا كان سببا فى ترك استعماله فى الاسقف

ونظم الاسقف يلزم اعتبارها كموضوعة بالبساطة على نقطتى ارتكاز لأن تثبيتها فى البناء وربطها مع بعضها لا يحدث تثبيتا تاما أعنى أنه لا يمكن ان يعتبر فى الحساب أن المماس لمنحنى محور المحمول فى نقطة الارتكاز افقيا

ومن المعلوم أن شرط عدم التثبيت فى نقطتى الارتكاز موضح بالحساب بالشرط الذى فيه تكون عزم الانحناء فى النقطتين المذكورتين معدومة اعنى يكون فيهما ع = ٠

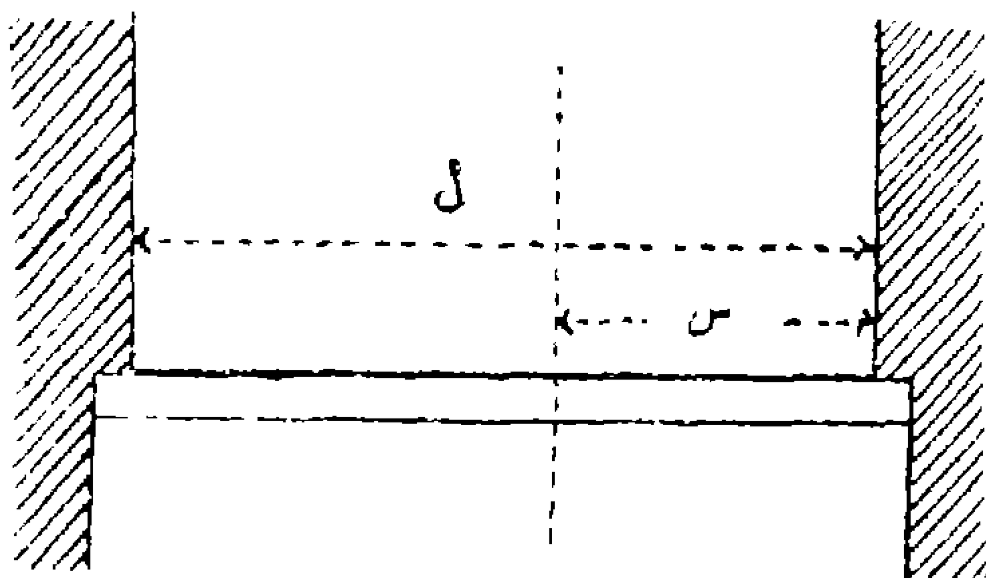
وأن الحمل يعتبر على العموم موزعا بانتظام حيث أنه مكون من جزء مستديم منسوب للبانى والبلاط الموضوع على السقف موزع بانتظام بواسطة الانشا ولأن تقارب ارتباط الاجزاء المختلفة من السقف يوزع الأحمال العارضية على سطح كبير نوعا بانتظام

فإذا كان ده رمزا للحمل الموزع بانتظام على المتر الطولى فأن ده ل يكون هو الحمل الكلى الواقع على الطول ل من شكل ١٩ ويكون رد فعل كل من نقطتى الارتكاز هو $\frac{ده ل}{٢}$ وحينئذ يكون عزم الانحناء ع اعنى عزم القوى الخارجة بالنسبة لمحور مستقط على مركز ثقل قطاع حيثما اتفق هو

$$ع = \frac{ده ل}{٢} س - ده س \times \frac{س}{٢} = \frac{ده}{٢} (ل س - س^{٢})$$

وحيث ان العزم الأعظم يمكن يقابل الحالة التى فيها س = $\frac{ل}{٢}$ فاذا رمز للعزم المذكور بالرمز $ع_{١}$ يكون

$$ع_{١} = \frac{ده}{٢} (ل \times \frac{ل}{٢} - \frac{ل^{٢}}{٤}) = \frac{ده ل^{٢}}{٨}$$



ش ١٩

وحيث أنه بناء على طرق صناعة الحدايد يكون قطاع الحدايد المستعملة منتظما فيكفى حينئذ حساب القطاع المنسوب لوسط القطعة اعنى بالنسبة للنقطة من طول القطعة التى فيها يكون التأثير اعظم ما يمكن وعليه فتكون النقط الاخرى فيها صلابة زيادة

وحينئذ فتحسب ابعاد قطاع القطع من المعادلة الآتية

$$\frac{ح}{ء} = \frac{ف ل^٢}{٨ م}$$

التى فيها ح رمز لعزم قصور القطاع ، ء رمز لبعد ابعد خيط عن محور الحمول ، م رمز لعامل المقاومة

وقبل الاشتغال بحساب سقف مطلوب انشاؤه يلزم اختبار شروط التوضيب التى توصلوا اليها بالتجربة فالاسقف كانت تصنع ابتداء بواسطة اعتاب ذات قطاع مستطيل من الحديد موضوعة على سيفها متباعدة عن بعضها بمقدار ٧٥٠ر متر تقريبا كما فى شكل ٢٠ و ٢١ ومرتبطة مع بعضها بعوارض من الحديد قطاعها مربع ضلعه ٠١٦ر متر متباعدة عن بعضها بمقدار ٧٥ر متر وكان يوضع على تلك العوارض مربوعات أو قضبان مربعة من الحديد ضلع قطاعها ٠١١ر متر متباعدة عن بعضها بمقدار ٢٥٠ر متر

وكان يستعمل ايضا بالنسبة لشروط التباعد المذكورة اعتاب سمكها ٩ مليمتر وارتفاعها بوصة بالنسبة لطول ثلاثة اقدام اعنى ٠٣٠ر متر بالنسبة للمتر الطولى وهذه القاعدة التجريبية تطابق الحسابات تقريبا حيث ان القانون

$$\frac{ح}{ء} = \frac{ع}{م}$$

يؤول فى هذه الحالة الى

$$\frac{ا ك^٢}{٦} = \frac{ف}{٨} \times \frac{ل^٢}{م}$$

وحيث انه يلزم ان يكون ك مناسبا للطول ل فاذا وضع

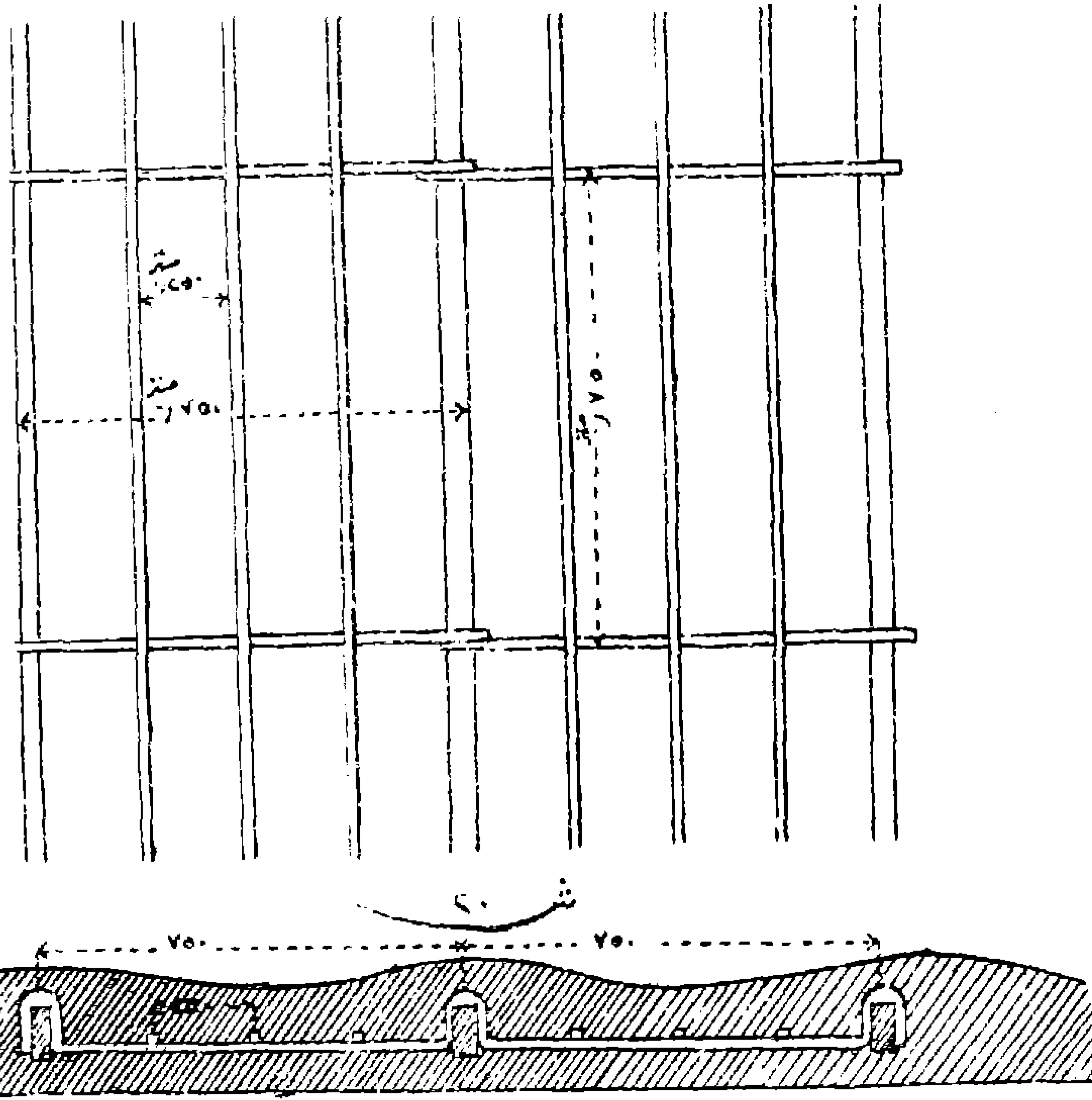
ك = ٠٣ر ل ، ا = ٠٠٩ر ل يكون

$$ف = \frac{٤٨ م ا ك^٢}{٦ ل^٢} = \frac{٨ م \times ٠٠٠٩ر \times ل^٢}{٦ ل^٢}$$

وبفرض ان م = ٦ × ١٠^٦ يكون ا = ٠٠٩ر متر

يكون مقدار ف هو

$$ف = \frac{٨ \times ٦ \times ١٠^٦ \times ٠٠٩ر \times ٠٠٩ر \times ٠٠٠٩ر}{٦} = ٦٤٨٠ \text{ كيلوجرام}$$



وهذا هو مقدار الثقل الموزع

بانتظام الذى يمكن توقيعه على القطعة بالنسبة للمتر الطولى مع الأمن وهو يقابل الى ثقل قدره

$$\frac{٦٤٨٠}{٧٥٠ر} = ٨٦٤٠ \text{ كيلوجرام بالنسبة للمتر المربع من السقف}$$

وحينئذ

وحينئذ فالحمل الواقع على القطع العرضية بالنسبة للمتر الطولى بعد الرمز له بحرف قه يكون

$$\text{قه} = \frac{\text{٨ م ١}^{٣}}{\text{٦ ل}^{٢}} = \frac{\text{٨} \times \text{٦} \times \text{١٠}^{\text{٦}} \times \text{٠٫٠١٦}^{\text{٣}}}{\text{٦} \times \text{٠٫٧٥}^{\text{٢}}} = \text{٥٨٫٢٠ كيلوجرام}$$

وهذا مطابق الى ثقل قدره

$$\frac{\text{٥٨٫٢٠}}{\text{٠٫٧٥}} = \text{٧٨٫٥٠ كيلوجرام بالنسبة للمتر المربع}$$

وأما بالنسبة للمربوعات فأنه اذا رمز بحرف قَه للحمل الواقع على المتر الطولى منها يكون

$$\text{قَه} = \frac{\text{٨} \times \text{م} \times \text{٠٫٠١١}^{\text{٣}}}{\text{٦} \times \text{٠٫٧٥}^{\text{٢}}} = \text{١٨٫٦ كيلوجرام}$$

وهذا يطابق الى

$$\frac{\text{١٨٫٦}}{\text{٠٫٢٥}} = \text{٧٤٫٤٠ كيلوجرام بالنسبة للمتر المربع}$$

وبالجملة فأنهم كانوا قد توصلوا عملا لاستعمال حدايد متناسبة ومقابل جميعها لحمل واحد تقريبا بالنسبة للمتر المربع وهذا الحمل هو ٧٥ كيلوجرام تقريبا بفرض ان مقاومة الحديد هى

$$\text{م} = \text{٦} \times \text{١٠}^{\text{٦}}$$

والحمل الذى قدره ٧٥ كيلوجراما المذكور هو عبارة عن الحمل المتوسط للأسقف بالنسبة للمتر المربع ويشتمل على المواد التى تتركب منها الاسقف المذكورة كالألواح والعقود الصغيرة والدكات وخلافها وسنرى أنه بحسب نوع كل مبنى تعتبر احمال عارضية مخصوصة فى الحسابات

فاذا امكن التثبيت فى ا كما فى شكل ٢٢ بواسطة كانات من الحديد أو بواسطة ثقل حائطى كاف فأن عزم الكسر الاعظم ما يمكن $\text{ع}_{\text{١}}$ يكون حاصلا فى النقطة ا المذكورة ويكون مقداره

$$\frac{\text{قَ ل}^{\text{٢}}}{\text{١٢}} \text{ عوضا عن } \frac{\text{ق ل}^{\text{٢}}}{\text{٨}}$$

وحينئذ بالنسبة لقطعة معلومة من الحديد يكون

$$\frac{\text{قَ ل}^{\text{٢}}}{\text{١٢}} = \frac{\text{م ب}}{\text{ى}} = \frac{\text{ق ل}^{\text{٢}}}{\text{٨}} \text{ ومنها يحدث}$$

$$\text{قَ} = \frac{\text{١٢}}{\text{٨}} \text{ق} = \text{١٫٥ ق}$$

ش ٢٢

وحينئذ يمكن الحصول على سقف تكون فيه نفس قطع الحديد محملة بمقدار ٥٠ ق فى المائة زيادة اوأنه بالعكس يمكن بالنسبة لسقف ذى ثقل معين استعمال حدايد ثقلها

$$\frac{\text{١}}{\text{١٫٥}} = \text{٠٫٦٦٦}$$

من الثقل المستعمل بدون تثبيت وفى هذه الحالة يكون مقدار عزم الكسر فى وسط العتب أو القطعة هو

$$\text{ع} = -\frac{\text{ق ل}^{\text{٢}}}{\text{٢٤}}$$

ويكون مقدار سهم الانحناء معينا بالقانون الآتى وهو

$$\text{وى ف} = \frac{\text{١}}{\text{٢٤}} \text{ق} \left(\frac{\text{ل}}{\text{٢}}\right)^{\text{٤}}$$

عوضا عن القانون

$$\text{وى ف} = \frac{\text{٥}}{\text{٢٤}} \text{ق} \left(\frac{\text{ل}}{\text{٢}}\right)^{\text{٤}}$$

المنسوب للقطعة الموضوعة على نقطتى ارتكاز بالحرية

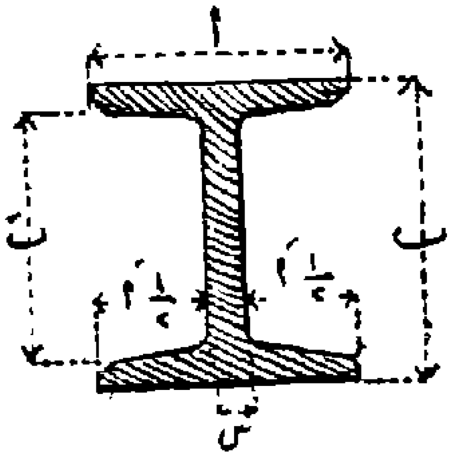
وفى هذين القانونين ف رمز لسهم انحناء وسط القطعة أو العتب

وحينئذ تقتضى عمل التثبيت اذ به يكون سهم الانحناء بمقدار خمس سهم الانحناء فى حالة عدم التثبيت

ولاجل تقليل ثقل الحديد المستعمل فى الاسقف قد تصور استعمال حدايد على شكل I الذى عزم قصوره اكبر كثيرا من عزم قصور الحدايد المستطيلة التى قطاعها متحد مع القطاع المذكور فى المساحة خصوصا وان صناعة الحدايد بالشكل السابق ليست صعبة كثيرا

لكن حيث ان حساب عزم القصور المذكور متشعب نوعا فتسهل دراسة ابعاد القطاعات التى على شكل ضعف حرف T بالطرق الآتية وهى

أن سحب الحدايد التى بشكل I يسمح بتغيير سمك ارواحها (ابدانها) بدون تغيير باقى اجزاء القطاع وقد يوجد جملة اشكال من الحدايد التى على شكل I مبينة فى اطالس الفابريقات المستخرجة منها تلك الحدايد وانما احسنها هو الحدايد المتماثلة بالنسبة لمستوى افقى مار بوسط ارتفاعها وهى التى تحدث بالنسبة لقطاع معلوم عزم قصور اعظم ما يمكن بجعل مركز الثقل على اكبر بعد ممكن من طرفى قطاع القطعة



واوفق النسب هى الآتية

ا يتغير من ٤٥ر٠ الى ٦٠ر٠ ب

س يتغير من ٠٤٥ر٠ الى ٠٦٠ر٠ ب = ١٠ر٠ ا

وقد توجد فى اطالس الحدايد المخصوصة المقادير العظمى والصغرى للسمك س التى يمكن لآلات السحب اجراؤها كما فى شكل ٢٣

وقد تحسب بالنسبة لكل نوع من الحدايد النسبة ع/ى المقابلة للسمك الاصغر ما يمكن وكذلك التغير للكمية ع/ى المقابل للتغير الحاصل فى الروح بمقدار مليمتر واحد

ثم يحسب أيضا الثقل المقابل للمتر المربع من الجنس عينه والتغير الحاصل للثقل المذكور بالنسبة للمليمتر الواحد من السمك فينتج الجدول الآتى

نمرة	ارتفاع ب	ارتفاع بَ	البروز ل/٢	السمك ١-١َ	مقدار ع/ى	مقدار تغيير ع/ى	الثقل بالنسبة للمتر المربع	مقدار تغيير الثقل بالنسبة للمليمتر
١	١٤٠	١٢٠	٣٦	٦	٢٠ ١١٣ ٠٠٠ر٠	٠ر٠٠٠٠٣٢٧	٢٠	١ر٠٩
ب	١٦٠	١٤٠	٣٦	٨	٥٠ ١٣٥ ٠٠٠ر٠	٠ر٠٠٠٠٤٢٧	٢٢	١ر٢٥
حـ	١٨٠	١٥٤	٤٤	٩	٢٠ ٢٢٤ ٠٠٠ر٠	٠ر٠٠٠٠٥٤٠	٣٢	١ر٤٠
ى	٢٠٠	١٧٤	٥٠	١٠	٠٠ ٢٩٤ ٠٠٠ر٠	٠ر٠٠٠٠٦٦٦	٣٤	١ر٥٦
هـ	٢٦٠	٢٢٨	٦٠	١٢	٢٠ ٦١٢ ٠٠٠ر٠	٠ر٠٠٠١١٢٧	٥٢	٢ر٠٣

ولنفرض

ولنفرض انحساب $\frac{ع}{ء} = \frac{ق}{٨} \times \frac{ل^٢}{م}$

أحدث مقدارا رقميا ا مثلا الى $\frac{ع}{ء}$ فمن النادر وجود المقدار المذكور بالضبط فى الجدول السابق ويلزم أن يبحث عن المقدار القريب جدا منه ويكون صغيرا عنه وليكن $\frac{ع}{ء}$ ثم يبحث عن الفرق $\frac{ع - ع}{ء}$ وبقسمته على التغير الحاصل للكمية $\frac{ع}{ء}$ يكون الخارج هو عدد المليمترات اللازم اضافته على السمك الموجود فى الجدول وحينئذ اذا فرض أن

$$\frac{ع}{ء} = \frac{ق ل^٢}{٨ م} = ٠٫٠٠٠١٤٨٠٠$$

فيرى أن المقدار الجدولى القريب من العدد المذكور هو

$$٠٫٠٠٠١٣٥٥٠$$

واذا حسب الفرق

$$
\begin{array}{r}
+ \;\; ٠٫٠٠٠١٤٨٠٠ \\
- \;\; ٠٫٠٠٠١٣٥٥٠ \\
\hline
٠٫٠٠٠٠١٢٥٠
\end{array}
$$

يكون

وبقسمته على مقدار تغير $\frac{ع}{ء}$ وهو ٠٫٠٠٠٠٠٤٢٧ فالخارج يكون ٣

وحينئذ فيقتضى اضافة ٠٫٠٠٣ مليمتر الى السمك ٠٫٠٠٨ الموجود فى الجدول

واستعمال هذا الجدول يسمح بادخال مقدار م اللازم اتخاذه فى الانشا وانما لا يحوث تسهيلا للحسابات بقدر الامكان الا اذا اتخذ مقدار معين للعامل م والمقدار الذى يوافق لهذا النوع من الحدايد والتطبيقات هو

$$م = ٦ \times ١٠^{٦}$$

وحينئذ بالنسبة لقطعة من الحديد معلومة يكون

$$\frac{ق ل^٢}{٨} = \frac{م ع}{ء} \quad \text{ومنها يحدث}$$

$$ق ل^٢ = \frac{٨ م ع}{ء} = ٤٨ \times ١٠^{٦} \times \frac{ع}{ء}$$

وبالنسبة لازدياد مليمتر واحد فى السمك يكون تغير $ق ل^٢ = \frac{٠٫٠٠١ ع}{٦} \times ٤٨ \times ١٠^{٦} = ٨٠٠٠ ع$

وحينئذ فيعمل جدول مشابه للمتقدم بحيث يكون محتويا على مقادير $ق ل^٢$ ومقادير تغير $ق ل^٢$

واستعمال الجدول المذكور عين استعمال الجدول السابق

[illegible]	ارتفاع ب	ارتفاع ت	البروز $\frac{١}{٢}$	السمك ٢-أ	مقدار $ق ل^٢ = \frac{٨ م ع}{ء}$	مقدار تغير $ق ل^٢ = ٨ م$ تغير $\frac{ع}{ء}$	[illegible]	[illegible]
ا	١٤٠	١٢٠	٣٦	٦	٥٤٣٣٫٦٠	١٥٦٫٨٠	٢٠	١٫٠٩
ب	١٦٠	١٤٠	٣٦	٨	٦٥٠٤٫٠٠	٢٠٤٫٩٦	٢٢	١٫٢٥
ح	١٨٠	١٥٤	٤٤	٩	١٠٧٦١٦٫٠٠	٢٥٩٫٢٠	٣٢	١٫٤٠

فحينئذ اذا فرض ان المطلوب تحميل سقف بمقدار ٢٥٠ كيلوجراما بالنسبة للمتر المربع وكان بعد القطع عن بعضها مساويا الى ٠ر٧٠٠ متر وطولها مساويا الى ٦ر٠٠ متر فانه يوضع

ح = ٢٥٠ × ٠ر٧٠٠ = ١٧٥ ك جراما ء ح ل٤ = ١٧٥ × ٦٢ = ٦٣٠٠

فالعدد الذى يقرب كثيرا من ٦٣٠٠ فى هذا الجدول هو ٥٤٣٣ فبقسمة الفرق وهو ٦٣٠٠ - ٥٤٣٣ = ٨٦٧ على ١٥٦ر٨٠ يكون

٨٦٧ / ١٥٦ر٨٠ = ٥ر٧٥ أو ٦ هو عدد الملليمترات اللازم اضافة على سمك الرأس

ثم ان قطعة الحديد التى كان ثقل المتر فيها ٢٠ر٠ كيلوجراما تزداد بمقدار ١ر٠٩ × ٦ = ٦ر٥٤ ويكون ثقلها الكلى مساويا الى ٢٦ر٥٤ لكن حيث ان قطعة الحديد الجدولى ب لا تزن سوى ٢٢ر٠٠ ك جراما وان مقدار ء ل٤ المقابل لها هو ٦٥٠٤ أعنى كبيرا قليلا عن المقدار اللازم فحينئذ يجب استعمال المقدار المذكور

وبهذه الطريقة يؤول الحساب المتشعب فى المظاهر للحدايد التى على شكل I الى حساب ء ل٤ بناء على التكوين البسيط للجدول السابق

ومقدار ح الداخل فى الحسابات يتركب من حمل السقف نفسه ومن الأحمال العارضية وهاك جدولا مشتملا على مقادير ح منقسمة الى أجزائها

المحلات	عدد الأشخاص بالنسبة للمتر المربع	ثقل المتر المربع من الأرضية والسقف	حمل الأثقال العارضية للمتر المربع	اتساع الفتحات	ح بالنسبة للطول
	نفر	كيلوجرام	كيلوجرام	متر	كيلوجرام
اود السكن	١ر٣	١٥٠	١٠٠	٠ر٧٠	١٧٥
محلات الاستقبال - صالونات	٣ر٠٠	١٥٠	٢٠٠	٠ر٧٠ ٠ر٦٠ ٠ر٥٠	٢٤٥ ٢١٠ ١٧٥
الصالات الكبيرة	٤ر٠٠	١٥٠	٣٠٠	٠ر٦٠ ٠ر٥٠ ٠ر٤٠	٢٧٠ ٢٢٥ ١٨٠
مكاتب أو محلات شغل	٣ر٠٠	١٥٠	٢٠٠	٠ر٧٠	٢٤٥
صالات اجتماعات	٤ر٦	١٨٠	٣٢٠	٠ر٧٠ ٠ر٦٠ ٠ر٥٥	٣٥٠ ٣٠٠ ٢٧٥
صالات للاجتماعات الكبيرة	٦	١٨٠	٤٢٠	٠ر٧٠ ٠ر٦٠ ٠ر٥٠ ٠ر٤٠ ٠ر٣٥	٤٢٠ ٣٦٠ ٣٠٠ ٢٤٠ ٢١٠
مخازن تجاره مشحونة ببضائع قليلة الثقل	٠٠	٥٠	٤٥٠	٠ر٧٠ ٠ر٥٥ ٠ر٤٥	٣٥٠ ٢٧٥ ٢٢٥
مخازن بضائع ثقيله - حواصل	٠٠٠	١٠٠	٩٠٠	٠ر٧٠ ٠ر٦٠ ٠ر٥٠	٧٠٠ ٦٠٠ ٥٠٠

تنبيه - ثقل الانسان أو الشخص الواحد مفروض انه يساوى ٧٠ر٠٠ كيلوجراما

والأسقف

فى الاسقف التى من الخشب

العروق أو المربوعات الخشب الداخلة فى تركيب الأسقف الخشبية يلزم أن يكون سمكها نصف ارتفاعها تقريبا وقد يكون سمكها ثلث ارتفاعها أيضا الا أن العروق تكون قليلة السمك نوعا ويجب عدم استعمالها بهذه الصفة وتحسب تلك العروق بنفس القواعد المستعملة لحساب القطع الحديدية وباستعمال جدول الأحمال العارضية السابق ذكره بحيث يلزم أن تكون اطراف العروق أو الألسنة الخشبية المستعملة فى الأسقف مقاومة للحمل القاطع ثم أن عدد العروق العرضية يتعين بناء على مجموع الاثقال الواقعة عليها

ويجمع غالبا العروق الخشبية أو القطع الحديدية مع بعضها مثنى لتكون اعتاب جسيمة لحمل الحواجز أو خلافها عليها والشكل المستعمل لذلك بالنسبة للحديد هو الصاليب والأطواق الحديد المركبة على الحامى التى توزع الأحمال جيدا على القطعتين المربوطتين معا وذلك كما هو مشاهد من شكل ٢٤

ش ٢٤

وبناء على المعاليم السابقة فالسقف الذى ثقل المتر المربع منه يساوى ٤٥٠ كيلوجراما وطوله يساوى ٧ر٠٠ متر والقطع فيه متباعدة عن بعضها بمقدار ٠ر٦٠٠ متر فان قيمته تكون بحسب الاثمان الآتية بالنسبة لجنس تركيبه ويؤدى الى النتائج الآتية أيضا

جنس التركيب	حدايد على شكل I	حدايد قطاعها مستطيلى	خشب
	متر	متر	متر
الارتفاع ب	٠ر٢٦٠	٠ر٢٠٢	٠ر٣٦٧
العرض ع	٠ر٠٦٧	٠ر٠٤٠	٠ر١٢٢
السمك س	٠ر٠١٣	...	...
السهم فى الوسط ف	٠ر٠١٠٨	٠ر٠١٥٣	٠ر٠١١٢
الثقل بالنسبة للمتر الطولى	ك جرام ٤٠ر٠٠	ك جرام ٦٢ر٦٠	بلوط
الثقل بالنسبة للمتر المسطح	٦٦ر٦٦	١٠٦ر٢٠	بلوط
ثمن ١٠٠ كيلوجرام مركبة فى محلها	فرنك ٣١ر٦٠	فرنك ٢٨ر٠٠	فرنك ١٣٠ الستير
الثمن بالنسبة للمتر المسطح	٢١ر٦٦	٢٩ر٠٥	٩ر٠٠ فرنك

والستير هو حجم المتر المكعب

مثال على حساب الأسقف

لنفرض سقفا مركبا كما هو مبين فى شكل ٢٥ الذى فيه اب ، جـ د هما محوران حديديتين كل منهما على شكل I مرتبطين مع بعضهما بشرائح ارتباطا جيدا وبالمثل أَبَ ، جَ دَ

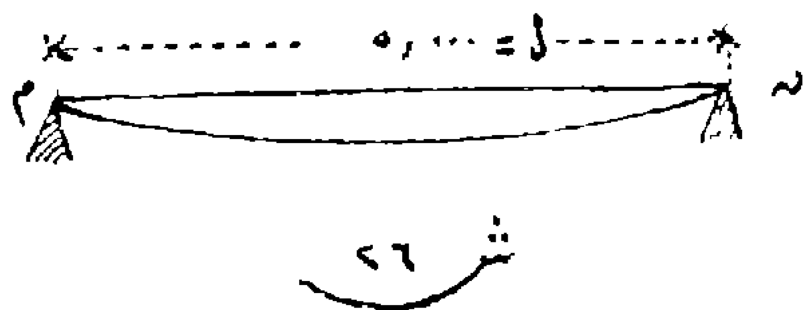
ش ٢٥

والذي فيه ف، ف، ف، ... الخ هي محاور حدايد على شكل I موضوعة من أحد طرفيها على الحائط ومرتبطة من الطرف الآخر مع العتب اب

فَ، فَ، فَ، ... الخ هي محاور حدايد على شكل I مرتبطة بنهايتيها بالعتبتين اب، أَبَ ونفرض أن الحمل على المتر المربع من السقف هو ٢٥٠ كيلوجراما بحسب الحدايد المختلفة المذكورة

فأولا حساب الحدايد ف

هذه الحدايد يمكن اعتبارها كقطع مرتكزة على نقطتي ارتكاز متباعدتين عن بعضهما بمقدار ٥٫٠٠ متر كما في شكل ٢٦ ومحملة بالنسبة للمتر الطولي بثقل قدره



ش ٢٦

$$قَ = ق + ٠٫٦٦٦ \times ٢٥٠$$

الذي فيه ق رمز لثقل المتر الطولي من العتب أو يكون

$$قَ = ق + ١٦٦٫٥٠ \text{ ك جرام}$$

وحيث ان عزم الكسر الأعظم ما يمكن يكون في وسط العتب فمقداره يكون

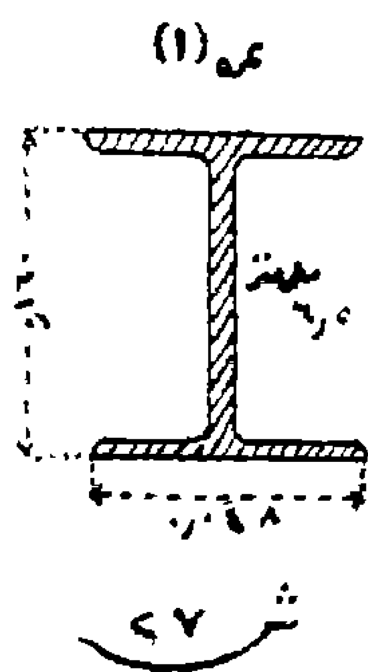
$$ع = \frac{1}{8} ل (ق + ١٦٦٫٥٠)$$ أو

$$ع = \frac{1}{8} \times ٥ (ق + ١٦٦٫٥٠)$$ أو

$$ع = ٣٫١٢٥ (ق + ١٦٦٫٥٠)$$

وحيث كان $م = \frac{ع ي}{ك}$ فيحدث

$$ع = م \times \frac{ك}{ي}$$



ش ٢٧

فبالنسبة للأعتاب نمرة شكل ٢٧ المأخوذة من جدول أحد الفابريقات يكون

ق = ١٤٫٥٠ كيلوجرام ومنها ينتج

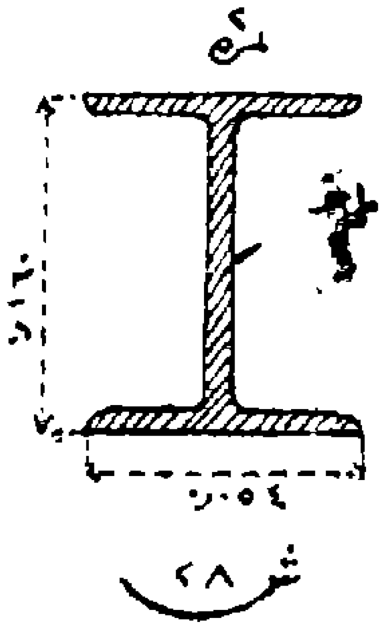
$$ع = ٥٦٥٫٣١٢٥$$ (

$$\frac{ك}{ي} = ٠٫٠٠٠٠٧٨٩٣٢$$ أو

٥٦٥٫٣١٢٥ =

٣١٢٥ ر ٥٦٥ = م × ١٠^٦ × ٣٢ × ٧٨٩ ..... ٠ر٠ ومنها يحدث

م = ٧٫٠٠ ك جراما بالنسبة للمليمتر المربع



وأما بالنسبة للاعتاب نمرة شكل ٢٨ بالجدول المذكور يكون

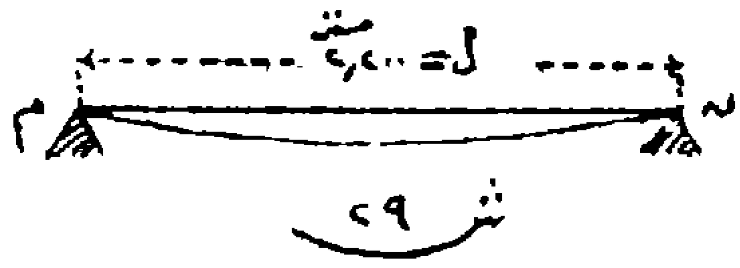
ﻫ = ١٦٫٠٠ ك جراما ومنها

ع = ٥٧٠ ، م = $\frac{٥٧٠}{٠٫٠٠٠٠٩١٧٤٩ \times ١٠^٦}$ = ٦٫٢٠ ك جراما

بالنسبة للمليمتر المربع

ثانيا - حساب الحدائد ف

هذه الحدائد يمكن اعتبارها كقطع مرتكزة على نقطتي ارتكاز متباعدتين عن بعضها بمقدار ٢٫٠٠ متر كما في شكل ٢٩ ويحمل كل منها بالنسبة للمتر الطولي بحمل قدره



ﻫَ = ﻫ + ٦٦٦ ٠ر × ٢٥٠ أو

ﻫَ = ﻫ + ١٦٦٫٥٠

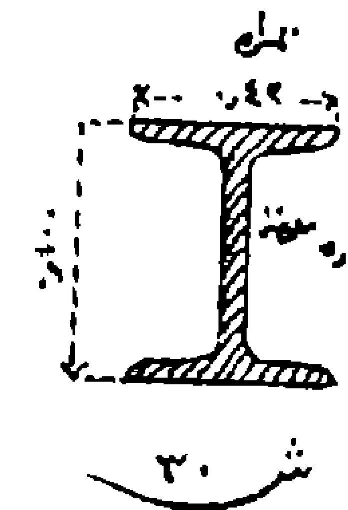
وعزم الكسر الاعظم ما يمكن يكون في منتصف العتب ومقداره هو

ع = $\frac{١}{٨}$ ل^٢ (ﻫ + ١٦٦٫٥٠) أو

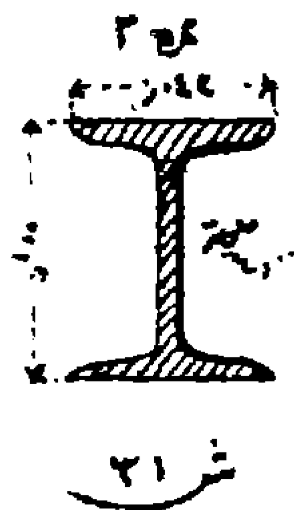
ع = $\frac{١}{٨}$ × ٢٫٠٠^٢ (ﻫ + ١٦٦٫٥٠) أو

ع = ٠٫٦٠٥ (ﻫ + ١٦٦٫٥٠) أو

ع = م × $\frac{ك}{ى}$ = ٠٫٦٠٥ (ﻫ + ١٦٦٫٥٠)



فبالنسبة للعتب نمرة ١ شكل ٣٠ بالجدول المذكور يكون ﻫ = ٨٫٠٠ كيلوجراما ويكون ع = ١٠٦٫٠٢ ويكون $\frac{ك}{ى}$ = ٠٫٠٠٠٠٣١٦٥٨٩ وحينئذ يكون م = $\frac{١٠٦٫٠٢}{٠٫٠٠٠٠٣١٦٥٨٩ \times ١٠^٦}$ = ٣٫٣٦ ك جراما بالنسبة للمليمتر المربع



وبالنسبة للعتب نمرة ٢ شكل ٣١ بالجدول المذكور يكون

ﻫ = ٨٫٥ كيلوجرام ويكون ع = ١٠٦٫٠٢

$\frac{ك}{ى}$ = ٠٫٠٠٠٠٢٩١٦٤ وحينئذ يكون

م = $\frac{١٠٦٫٠٢}{٠٫٠٠٠٠٢٩١٦٤ \times ١٠^٦}$ = ٣٫٧٠ ك جرام بالنسبة للمليمتر المربع

ثالثا - حساب الحدائد ا ب ، ﺣ ﺀ ، ا َ ب َ ، ﺣ َ ﺀ َ

حيث ان هذه الحدائد مجتمعة مع بعضها مثنى بحيث ينشأ عن كل اجتماع عتب واحد فحينئذ يمكن اعتبار كل مجموع عتبين كعتب مرتكز على نقطتين متباعدتين عن بعضهما بمقدار ٠٫٨٠ متر كما في شكل ٣٢ ويحمل اولا بالثقل ﻫ بالنسبة للمتر الطولي من مجموع العتبين الاصليين وثانيا بجملة قوى متساوية كل منها مساو الى ﻫ١ ومقدارها هو

ﻫ١ = $\frac{١}{٢}$ × ٠٫٦٦٦ (٠٫٥٠ + ٠٫٢٠) ٢٥٠ أو

ﻫ١ = ٦٠٫٠ كيلوجرام وذلك بالنسبة للعتب الكلي ا ب ، ﺣ ﺀ

وعزم الكسر الأعظم ما يمكن يكون فى القطاع الموجود فى منتصف العتب ومقداره هو

$$\text{ع} = \text{ر} \times \frac{\text{ل}}{٢} - \text{و}\frac{\text{ل}}{٢} \times \frac{\text{ل}}{٤} - \text{ب}_{١}\left(\text{ﺣ} - \frac{\text{ل}}{٢}\right) - \text{ب}_{١}\left(\text{ء} - \frac{\text{ل}}{٢}\right)$$

وحيث أن

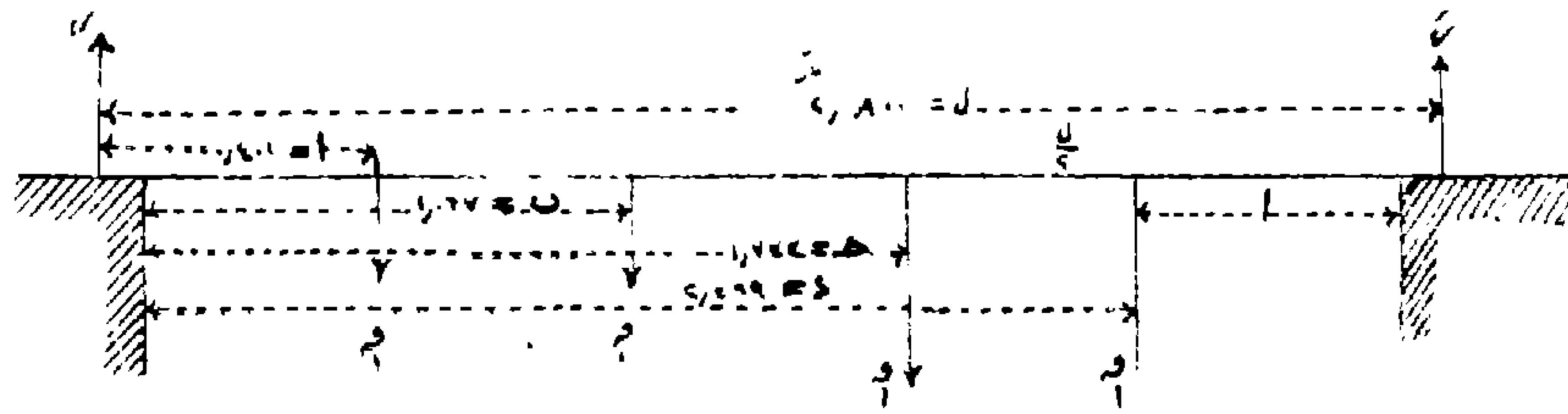
$$\text{ر} = \text{ر}' = \frac{\text{و ل}}{٢} + ٢\,\text{ب}_{١}$$ يكون

$$\text{ع} = \frac{\text{و ل}^{٢}}{٨} + \text{ب}_{١}\,(٢\text{ل} - \text{ﺣ} - \text{ء})$$ أو

$$\text{ع} = \frac{١}{٨}\,\text{و} \times \overline{٨ر٢}^{\,٢} + \text{ب}_{١}\,(٦٠ر٥ - ٧٣٣ر١ - ٣٩٩ر٢)$$ أو

$$\text{ع} = ٩٨ر٠\,\text{و} + ٦٠٠ \times ٤٦٨ر١$$ أو

$$\text{ع} = ٩٨ر٠\,\text{و} + ٨٨٠ر٨$$



ش ٣٢

وثقل كل من العتبين الاصليين المكونين للعتب الكلى المبين فى شكل ٣٣ بالنسبة للمتر الطولى بناء على جدول الفابريقة هو ٤٠ر١٤ كيلوجراما حينئذ يكون

$$\text{و} = ٢٩ر٠٠$$ كيلوجراما ويكون

$$\text{ع} = ٩٠٩ر٢٢$$ وحينئذ يكون

$$\text{م} \times ٢ \times \frac{\text{ك}}{\text{ء}} = \text{ع}$$ ولكن

$$\frac{\text{ك}}{\text{ء}} = ٠ر٠٠٠٠٧٨٩٣٢$$ حينئذ يكون

$$٢\text{م} = \frac{٩٠٩ر٢٢}{٠ر٠٠٠٠٧٨٩٣٢ \times ٦١٠}$$ أو

$$٢\text{م} = \frac{٩٠٩ر٢٢}{٧٨ر٨٣٢} = ١١ر٥٢$$ أو

$$\text{م} = ٥ر٧٦$$ كيلوجرام بالنسبة لمليمتر المربع

ش ٣٣

وقياسا على ذلك يحسب العتب الكلى أ ب ﺣ ء وهكذا

ويمكن حساب سهم الانحناء من القانونين الآتيين

$$\text{ف} = \frac{٥}{٢٤} \times \frac{\text{و}}{\text{م ك}} \left(\frac{\text{ل}}{٢}\right)^{٤} \quad ......(١)$$ وهو بالنسبة للعتب المرتكز على نقطتين بالحرية

$$\text{ف} = \frac{١}{٢٤} \times \frac{\text{و}}{\text{م ك}} \left(\frac{\text{ل}}{٢}\right)^{٤} \quad ......(٢)$$ وهو بالنسبة للعتب المثبت فى نقطتى ارتكاز

اللذين فيهما ف رمز لسهم الانحناء ، و رمز للحمل الموزع بانتظام على المتر الطولى الناتج عن الحمل المستديم والحمل العارضى معا ، ل رمز لطول العتب ، م رمز لمعامل المرونة ، ك رمز لعزم قصور القطاع

ومسألة حساب سهم الانحناء مهمة جدا فى التسقيف حيث أنه يلزم أن لا يزيد سهم الانحناء الاعظم ما يمكن عن المقدار الناتج من الحساب

فحساب

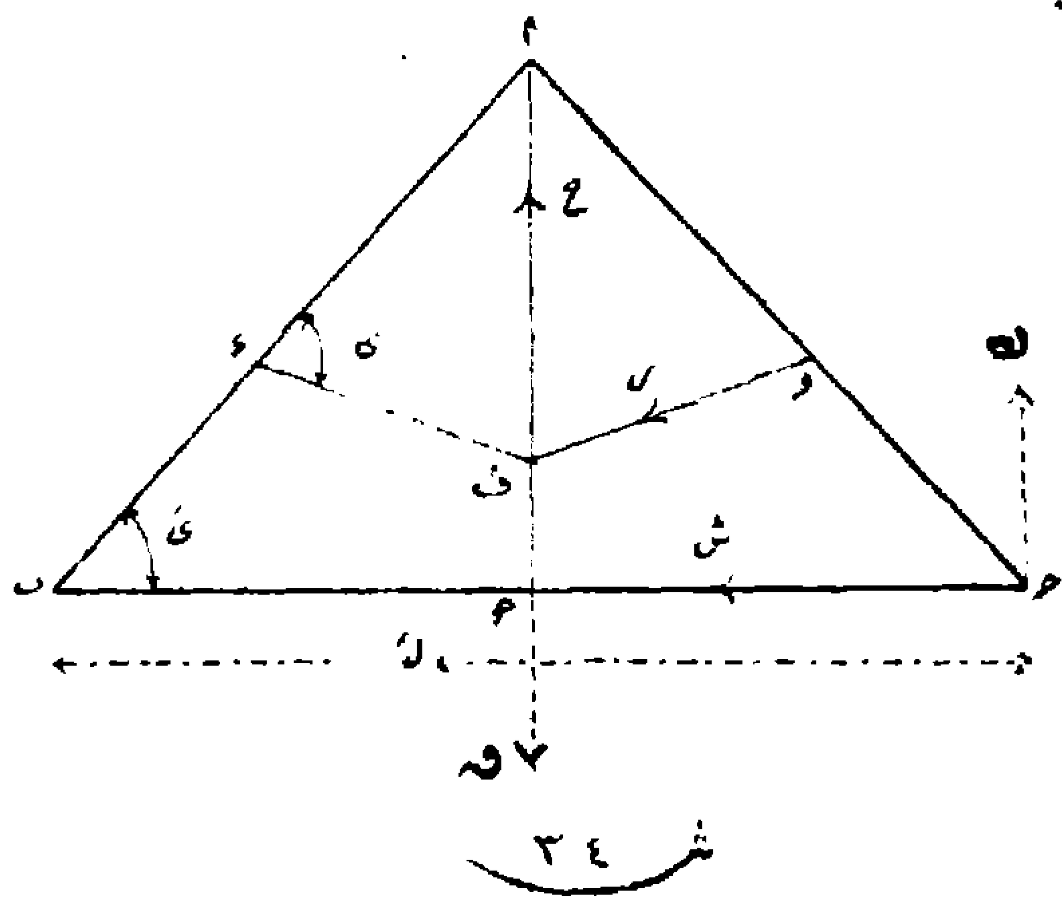
فى حساب الجملونات الخشبيه والمعدنيه

حيث أن الجملونات تصنع على جملة اشكال فنتكلم على المهم منها فنقول

الشكل الأول ـ لحساب هذا الشكل من الجملونات المركب كما فى شكل ٣٤ من ضلعين مائلين اب ، اح ومن ذراعين فو ، فء ومن شداد ب ح ومن قائم اه

نفرض ان سعة الفتحة هى ٢ ل وان ه هو الثقل الواقع فى منتصف الشداد وان ق هو الحمل الموزع بانتظام على المتر الطولى من الافقى ونقطع النظر عن ثقل الذراعين والقائم ونرمز بحرف ر للضغط الواقع على الذراع وبحرف ش لشد الشداد وبحرف ح لشد القائم اعلى نقطة ف

ولنعتبر نصف الجملون فيرى ان الثقل الرأسى ق ل يحدث على الضلع المائل ضغطا طوليا قدره ق ل حا ى وقوى عمودية موزعة بانتظام مقدارها ق ل حا ى وحيث ان



الذراع يسند الضلع المائل فى منتصفه تقريبا ويلزم أن يكون فيه الصلابة الكافية لثبات النقطة و وحينئذ يمكن اعتبار الضلع المائل كعتب ذى فتحتين متساويتين ويكون عزم الانحناء فى نقطة الارتكاز المتوسطة بعد الرمز لطول كل من الفتحتين المذكورتين بحرف لَ والحمل بالنسبة للمتر الطولى بحرف قَ هو

$$ع = \frac{1}{8}\ قَ\ لَ^{2}$$

وعزم الانحناء فى نقطة حيثما اتفقت من الفتحتين المذكورتين هو

$$ع = -\frac{3}{8}\ قَ\ لَ\ س + \frac{1}{2}\ قَ\ س^{2}$$

وحيث ان الحمل القاطع هو مشتقة ع بدلالة س فاذا رمز له بالرمز ك يكون

$$ك = -\frac{3}{8}\ قَ\ لَ + قَ\ س$$

وبجعل س = ٠ ، س = لَ على التوالى وتعويض قَ بالمقدار ق حا ى ، لَ بالمقدار $\frac{ل}{٢\ حا\ ى}$ يكون مقدار كل من ردى الفعلين العموديين على الضلع المائل فى النهايتين ا ، ح هو

$$\frac{3}{16}\ ق\ ل\ حا\ ى$$

ومقدار رد الفعل اسفل الذراع فى نقطة و هو

$$\frac{5}{8}\ ق\ ل\ حا\ ى$$

وحيث ان الذراع ليس مضغوطا الا فى نهايتيه فالقوى الواقعة عليه تؤول الى ضغط واحد ر متجه فى اتجاه محوره وحينئذ يكون

$$ر\ حا\ ى = \frac{5}{8}\ ق\ ل\ حا\ ى \quad ......\ (١)$$

ومن هذه المعادلة يحسب مقدار ر

وحينئذ تكون النهاية ح متأثرة بثلاث قوى ك ، ش ، $\frac{3}{16}$ ق ل حا ى التى يلزم ان تكون متزنة ويحدث

لـ حاى َ - ش حاى َ = ٣/١٦ ق ل َ حاى َ ..... (٢)

وحيث ان الجزء ف هـ من القائم يلزم أن يحمل الشداد بحيث تكون النقطة هـ ثابتة فحينئذ باعتبار الشداد كعتب ذى فتحتين يرى ان شدته فى الجزء د هـ هى ٥/٨ ده وبناء على توازن القوى الخارجة مع الشداد يكون

٢ لـ - ٢ ق ل َ = ٥/٨ ده   أو

لـ = ق ل َ + ٥/١٦ ده .... (٣)

و لـ ليست هى رد فعل البناء على الجملون بل هى رد الفعل الواقع من الشداد على الضلع المائل وأما رد الفعل الواقع من البناء فانه يساوى بداهة نصف الحمل الكلى

وحيث ان الشدة فى الجزء العلوى من القائم تزيد عن الشدة فى جزئه السفلى بمقدار المركبتين الرأسيتين للقوى المؤثرة فى محورى الذراعين فحينئذ يكون

ح = ٥/٨ ده + ٢ ر حا (ى - ى َ) .... (٤)

وبواسطة معادلات (١) و (٢) و (٣) و (٤) تتعين مقادير ر و لـ و ش و ح

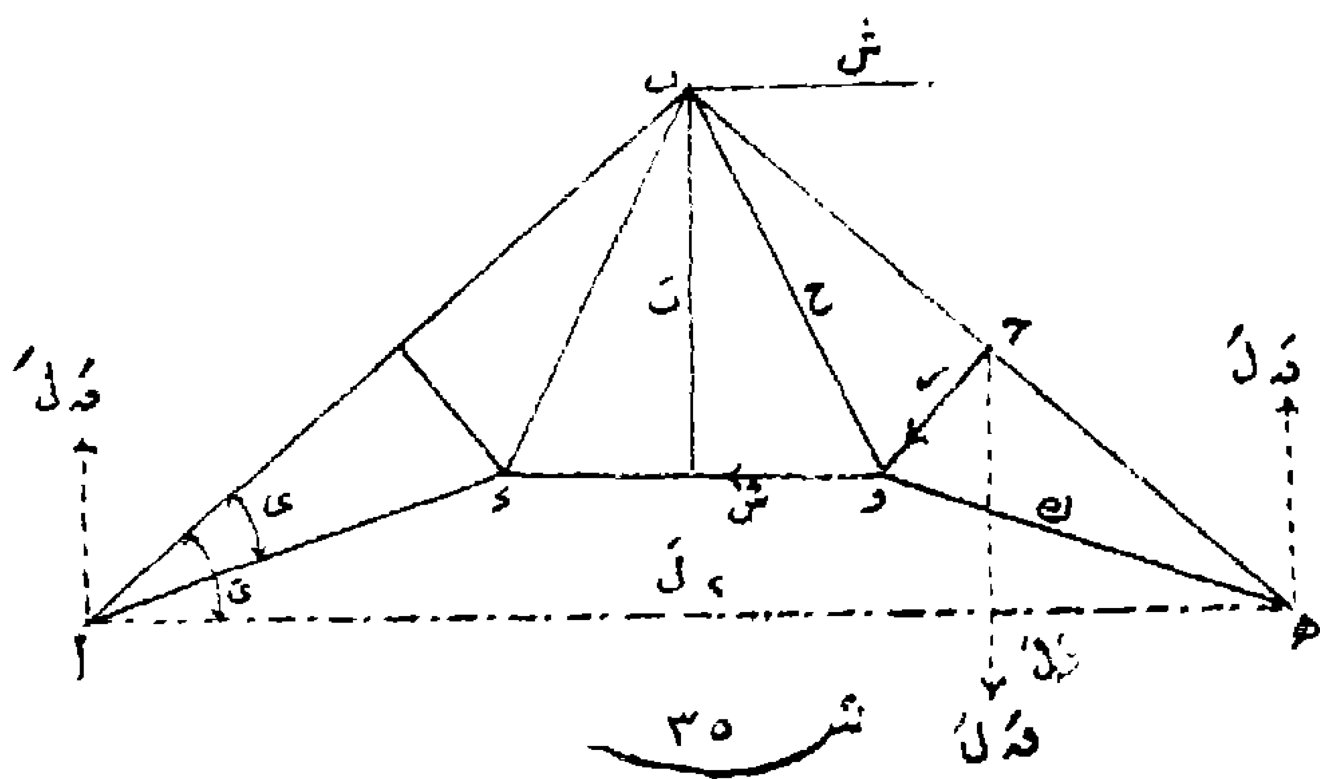
مع ملاحظة ان ش هى ايضا الدفع الأفقى المؤثر فى رأس الجملون

وحيث أن الضلع المائل متأثر فى آن واحد بقوى انحناء وبقوى ضغط فى اتجاه محوره فقطاعه يلزم ان يكون متغيرا لكن يجعل عادة ثابتا مع مراعاة اكبر القوى المتأثر بها

الشكل الثانى للجملون وهو المسمى بشكل المهندس بولونسو

قد ينشأ كثيرا فى سقائف محطات السكك الحديد شكل الجملون اختراع المهندس بولونسو وهذا الشكل اما أن يكون بتمامه من المعدن أو من الخشب والمعدن معا ويسمح باحيان سعة كبيرة ومنظر ليس حسيا

وجملون بولونسو المبين فى شكل ٣٥ يتركب من ضلعين مائلين مرتبط كل منهما ارتباطا مفصليا من منتصفه بذراع من الحديد الزهر د و عمودى عليه والطرف الآخر من الذراع مرتبط ارتباطا مفصليا أيضا بشدادين من الحديد و هـ و و ب رابطين الذراع المذكور بالضلع المائل السالف ذكره



شـ ٣٥

والغرض من هذا التركيب تحويل الضلع المائل الى نوع عتب مسلح

والرأسان و و ى للذراعين مجتمعان بشداد افقى من الحديد الذى يمكن جعل شدته بحيث تكون كافية لاعدام مدافعة الجملون على نقطتى الارتكاز ا و هـ اللتين يؤثر فى كل منهما فقط رد الفعل الرأسى ق ل َ المساوى لنصف ثقل الجملون بقطع النظر عن اثقال الشدادات والذراعين

ومن

ومن جهة أخرى فان الثقل ق ل لنصف الجملون يؤثر فى نقطة حـ وحينئذ فالقوتان الرأسيتان تؤولان
الى ازدواج قوته ق ل وذراع رافعته ½ ل
وعزم الازدواج المذكور يكون ½ ق ل² وحينئذ لحصول التوازن يلزم مساواته بالعزم الناتجة
من القوى الافقية وهى أولا رد الفعل أو الدفع ش لنصف الجملون الايسر على نصفه الايمن وثانيا
الشد ش للشداد الافقى الجامع لنصفى الجملون مع بعضها وهاتان القوتان تكونان ازدواجا عزمه يساوى
ش ت وحينئذ يحدث

$$\frac{1}{2} ق ل^2 = ش ت$$

والشد ش يلزم ان يكون حاصلا من الشداد وحينئذ فتزنق بريمة الشداد المذكور لحصول على هذا
الشد وتجعل احدى النهايتين ا الجملون على بداخل بحيث لايحدث قط رد فعل افقى من نقطة الارتكاز
والشداد يأخذ حينئذ شدته المناسبة بالطبع
وكذا الشدادان و ب ، و هـ يمكن زنقهما بحسب الارادة ومتى وضع الجملون فى محله يصير تنظيمها بحيث يرتكز
الذراع الزهر و د على الضلع المائل بقوة كى يمكن اعتبار النقطة د كنقطة ثابتة
وحينئذ يصير الضلع المائل عتبا ذا فتحتين متساويتين والقوة القاطعة ر على نقطة الارتكاز المتوسطة
تكون مساوية الى

$$\frac{5}{8} ق ل حا ى$$

وعلى نقطتى الارتكاز المتطرفتين تكون مساوية الى

$$\frac{3}{16} ق ل حا ى$$

وحينئذ يكون

$$\frac{3}{16} ق ل حا ى = ق ل حا ى - ك حا ى$$

ومن هذه المعادلة يستخرج مقدار ك الذى هو عبارة عن رد فعل الشداد ا د أو هـ و على الجملون
وكذا باسقاط جميع القوى المتقاطعة فى نقطة ب الواقعة على نصف الجملون على محور عمودى على الضلع
المائل يحدث

$$ش حا ى - ح حا ى = \frac{3}{16} ق ل حا ى$$

ومنها يستخرج مقدار ح
وحينئذ تكون جميع المعاليم اللازمة لحساب القطع معلومة ماعدا الضلع المائل المتأثر فى آن واحد باحمال
ضغوط وبأحمال انثناء فأنه يكتفى بحسابه لاجل عدم تشعب المسألة باعتباره كعتب ب هـ مرتكز على
نقطتى ارتكاز ومتأثر بحمل عمودى منتظم مقداره ق حا ى بالنسبة للمتر الطولى
وفى الواقع فان الحسابات السابقة تؤدى الى صلابة نظرية لاتوجد فى العمل مطلقا ويلزم تجديد الجملون
زمنا فزمنا بسبب تغير درجة الحرارة وحينئذ يلزم ان يترك لاحدى نهايتى الجملون مسافة افقية

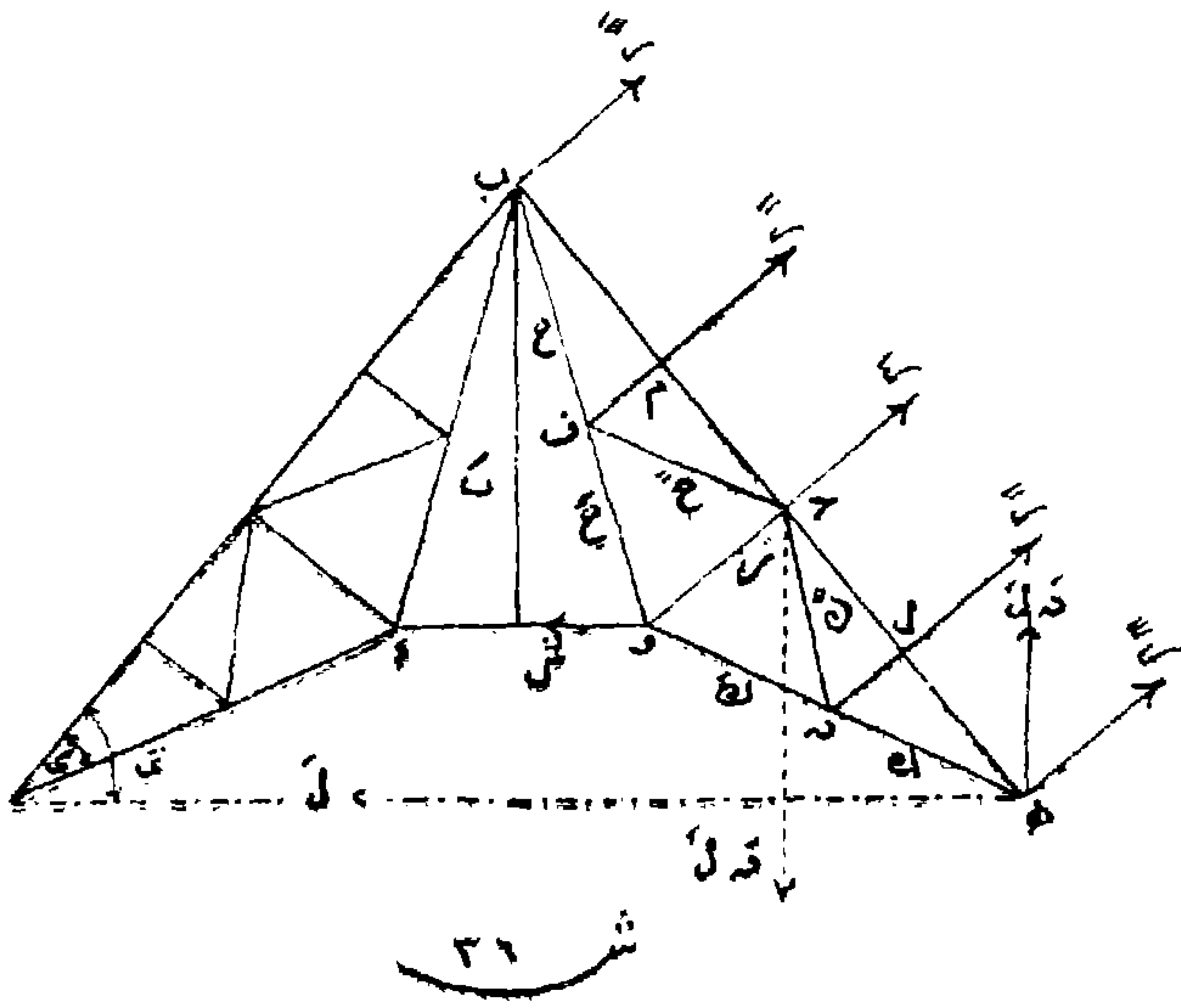
قليلة ليحصل فيها التمدد

ومتى استعمل شداد طويل افقى فأنه يكون له بسبب ثقله منهم انحناء محسوس تأثيره ردئ ويمكن اعدام هذا السهم بواسطة قائم نازل من الرأس ب بحيث يكون كافيا لمقاومة ⅝ حمل الشداد كما ذكر

الشكل الثالث للجملون

فى حالة ما تكون الفتحات كبيرة جدا فأنه يستعمل جملون بولونسو على صورة كثيرة التركيب كما هو مشاهد من شكل ٣٦

وفيه يقسم الضلع المائل الى اربعة اقسام متساوية



وتسند نقط التقاسيم بأذرعة من الحديد الزهر والذراع المتوسط يرتبط بنهايتى الضلع المائل بشدادين وأما الأذرعة الأخرى فأنها ترتبط بنهايتيها مع منتصف الضلع المائل المذكور

ومن المعلوم ان مقدار عزم القوى الرأسية الخارجة هو دائما مساوٍ الى $\frac{1}{2}$ ق ل^2 وعزم القوى الافقية هو ش ت فحينئذ يكون

$$ش = \frac{ق\,ل^2}{2\,ت}$$

ويرى فى هذه الحالة أن الضلع المائل ب ھ عبارة عن عتب ذى اربع فتحات متساوية وحينئذ بتطبيق نظرية العزم مع استعمال القانونين العموميين الخاصين بها على الضلع المائل المذكور يحدث

$$ر' = \frac{13}{56}\,ق\,ل\,حاى' \quad ، \quad ر'' = \frac{2}{7}\,ق\,ل\,حاى' \quad ، \quad ر''' = \frac{11}{112}\,ق\,ل\,حاى'$$

وبوضع شرطى توازن القوى الخارجة الواقعة فى كل من نقطتى ھ و ا يكون

$$\frac{11}{112}\,ق\,ل\,حاى' = ق\,ل\,حاى' - ك\,حاى \quad ، \quad \frac{11}{112}\,ق\,ل\,حاى' = ش\,حاى' - ح\,حاى$$

ومن هاتين المعادلتين يستخرج مقدار ك ، ح وبوضع شروط توازن القوى الواقعة فى نقطتى ف ، م أعنى بجعل كل من مجموع مساقط القوى على محورين احدهما موازٍ للضلع المائل والثانى عمودى عليه مساويا للصفر تحدث اربع معادلات يستنتج منها الثلاث معادلات الآتية وهى

$$ك' = \frac{1}{7}\,ق\,ل\,\frac{حاى'}{حاى''} \quad ، \quad ك'' = \frac{85}{112}\,ق\,ل\,\frac{حاى'}{حاى} \quad ، \quad ح' = \frac{1}{حاى}\left[ش\,حاى' - \frac{27}{112}\,ق\,ل\,حاى'\right]$$

والضغط ر للذراع الوسطى يحصل بملاحظة ان محصلة الثلاث قوى ر ، ك' ، ح' مساوية ومضادة للحمل القاطع ر' وحينئذ يكون

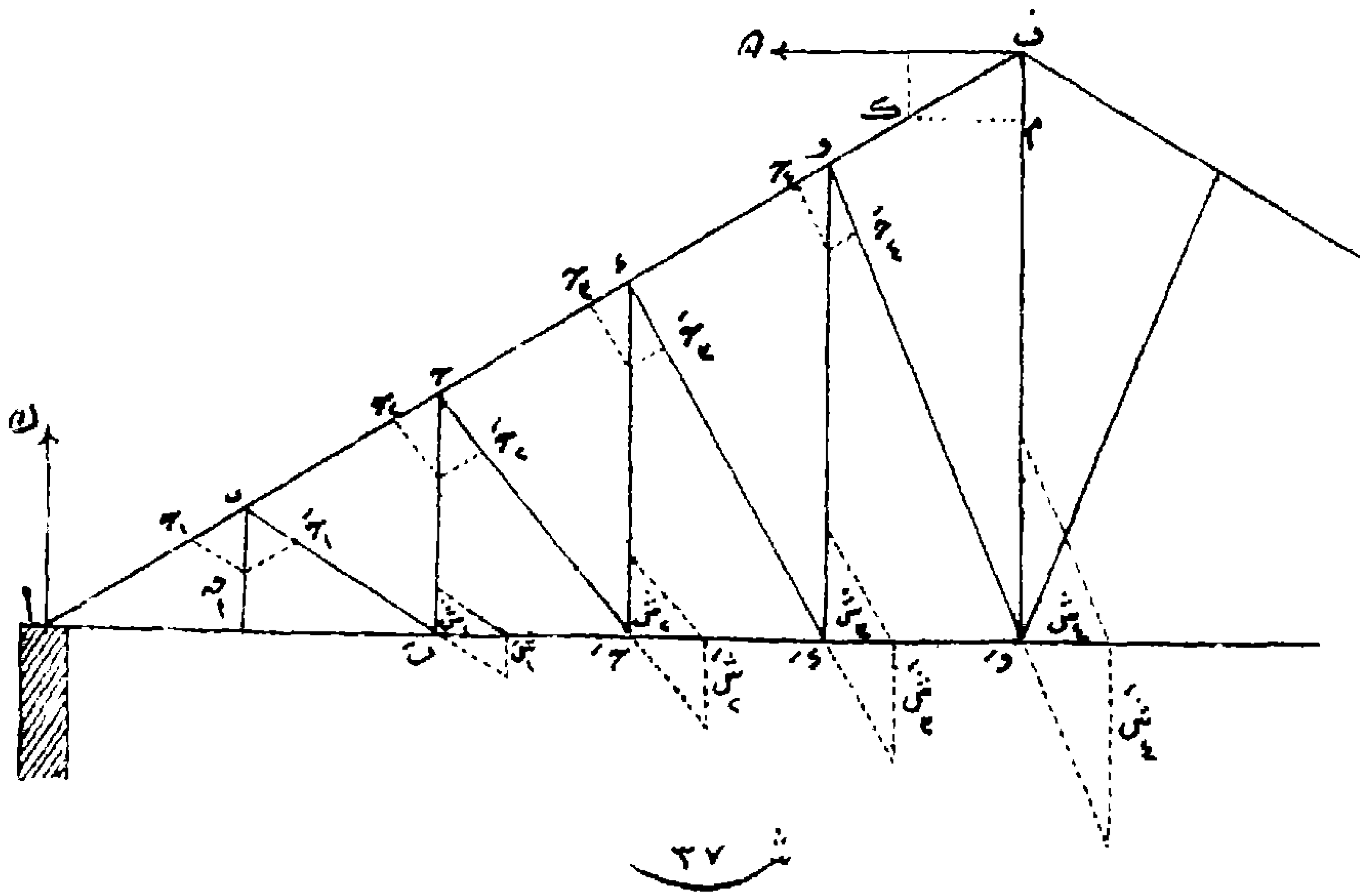
$$ر = \frac{29}{56}\,ق\,ل\,حاى'$$

وقد نتج من الحسابات أنه بالنسبة للحمل الواحد تكون الجملونات أخف كلما كانت الزاوية ى قريبة من ٤٥°

الشكل

الشكل الرابع للجملون

ويوجد شكل رابع للجملون مستعمل فى المانيا كما فى شكل ٣٧ يسمح لعمل الجملونات بفتحات عظيمة جدا ويفرض فى هذا الجملون ان الاحمال واقعة فى ٢ ، ب ، د ، ى ، و ، ف التى هى نقط تأثير المربوعات والشدادات والاذرعة ويفرض حينئذ تساوى هذه الاثقال حيث أن المربوعات موضوعة على أبعاد متساوية من بعضها (ويمكن عدم وضع المربوعات على أبعاد متساوية من بعضها ومع ذلك لا يحصل تغيير فى طريقة الحساب) واخيرا يسلم باعتبار الجملون كجملة متعشقة حتى يمكن تحليل القوى الضرورية للحصول على مقادير الشد والضغوط اذا تقرر هذا يقال ان الثقل ث يحدث فى اتجاهى ٢ب ، ب ت ضغطين ج١ ، ج َ وبنقل القوة الأخيرة فى ت فانها تحدث فى اتجاه ت ٢ شدا قدره ش١ وفى اتجاه ت د شدا قدره ش َ وبنقل هذا الشد فى د وضم الثقل ث اليه فان المحصلة تحدث فى اتجاه د ب ضغطا قدره ج٢ وفى اتجاه د د َ ضغطا قدره ج َ وبنقل الضغط المذكور فى د َ واجراء العمل كما سبق الى نقطة و َ والحصول على مقدارى الشدين ش٤ ، ش َ ثم نقل ش٤ َ فى ف وضم الثقل ث اليه تحصل قوة ف م وبتحليل هذه المحصلة ورد الفعل الافقى ? للضلع المائل الثانى معا ينتج ضغط الضلع المائل الأول وهو ف ك = ك على جميع الطول ف و وبالمثل يكون فى نقطة و َ شد الشداد ش = ?



وينتج من ذلك التوزيع الآتى للقوى وهو بالنسبة للضلع المائل

ضغوط فى الطول ف و ... ك

،، ،، و ى ... ك + ج٤

،، ،، ى د ... ك + ج٤ + ج٣

،، ،، د ب ... ك + ج٤ + ج٣ + ج٢

،، ،، ب ٢ ... ك + ج٤ + ج٣ + ج٢ + ج١

شدود الشداد

فى و َ ... ش

فى الطول و َ ى َ ... ش + ش٤

فى الطول	ءَ حَ	...	ش + ش٢ + ش٣
«	حَ بَ	...	ش + ش٢ + ش٣ + ش٤
«	بَ ا	...	ش + ش٢ + ش٣ + ش٤ + ش١

ضغوط الأذرع

ذراع	ب بَ	...	جَ
ذراع	ح حَ	...	جَ٢
ذراع	ء ءَ	...	جَ٣
ذراع	و وَ	...	جَ٤

شدود القوائم الرأسية

الشدود الواقعة	فى	ب	....	صفر
«	«	ح	....	شَ١
«	«	ء	....	شَ٢
«	«	و	....	شَ٣
«	«	ف	....	شَ٤

ويلزم ان يلاحظ بالنسبة للشد الأخير ان شدته الحقيقية هى ٢ شَ٤ بسبب الذراع المماثل للذراع وَ وَ المؤثر على الذراع و وَ المذكور

وهذه الطريقة يمكن تطبيقها بالمثل على الجلونات التى من هذا القبيل وشدادها ليس افقيا ويمكن تطبيقها أيضا على الحالة التى يكون فيها الحمل موزعا بانتظام على الضلع المائل مع فرض ان النقط ٢ ا ب ، ح ، ء ، و ، ف تكون على خط مستقيم واحد

وحينئذ يلزم ان تحسب بناء على عدد الفتحات ردود افعال نقط الارتكاز التى تعطى مقادير القوى م١ ، م٢ ، م٣ ، م٤ ، م٥ فتعين عزم الانحناء

وفى مثل هذه الحالة تحدد عزم الانحناء فى النقط المختلفة بمنحنى قطعى كما فى معادلته على العموم هى

$$ع = \frac{١}{٢} ق سَ ٢$$

وبعد تعيين عزم الانحناء على نقط الارتكاز يوضع القطع المكافئ فى النقط المناسبة كما أجرى ذلك فيما سبق على تطبيق حساب المقاومة على القناطر

لكن فى هذه الحالة قانون كلابيرون يمكن اختصاره لان القانون المذكور هو

$$٤ ل ع + ٨ (ل + ل) ع + ٤ ع ل = ىَ لَ٣ + ىَ لَ٣ \quad \text{ويؤول الى}$$

$$٤ ل ع + ١٦ ل ع + ٤ ل ع = ٢ ر$$

بجعل $٢ = ىَ لَ^٣ = ىَ لَ^٣$ وبسبب أن

$ل = ل =$

$ل_١ = ل_٢ = ل$ ، $ق_١ = ق_٢$

وبالنسبة للأربع فتحات تكون مقادير عزم الانحناء على نقط الارتكاز هي

$ع_١ = ع_٤ = ٠$ ، $ع_٢ = ع_٣$ ، $ع_٢$

ولا يوجد حينئذ سوى مجهولين ويكفي وجود المعادلتين

$$١٦ ل ع_١ + ٤ ل ع_٢ = ٢٢ \quad \cdots\cdots \quad (١)$$ و

$$٨ ل ع_١ + ١٦ ل ع_٢ = ١٢ \quad \cdots\cdots \quad (٢)$$

لكن معادلة (١) تؤول الى

$$٨ ل ع_١ + ٢ ل ع_٢ = ٢$$

وبطرح هذه المعادلة من معادلة (٢) يحدث

$$١٤ ل ع_٢ = ٢$$ أو

$$ع_٢ = \frac{٢}{١٤ ل}$$

وحينئذ يكون

$$ع_١ = \frac{١٢ - \frac{٢٤}{١٤}}{١٦ ل} = \frac{٢٢٤}{٢٢٤ ل} = \frac{٢٣}{٢٨ ل}$$

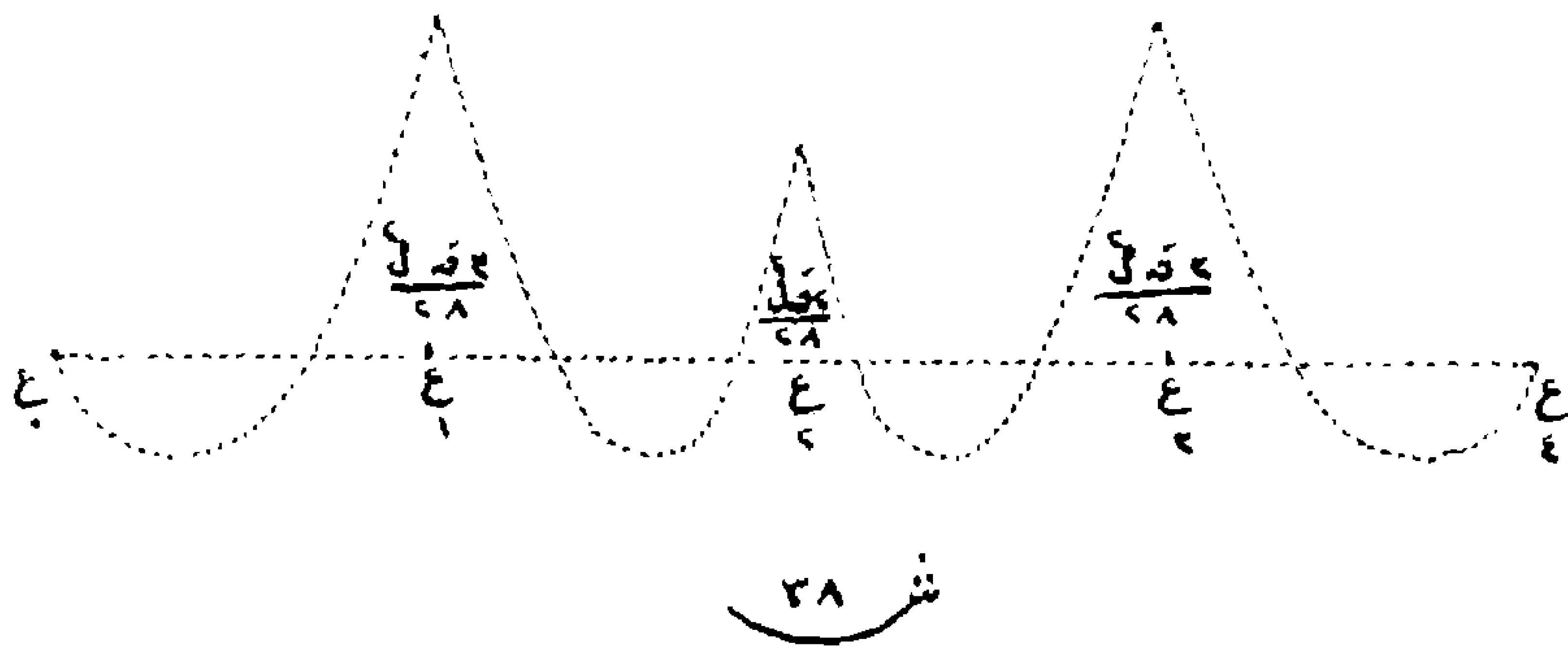
أو

$$ع_١ = \frac{٣ ق ل^٣}{٢٨ ل} = \frac{٣ ق ل^٢}{٢٨}$$

وبناء على هذه المعادلة يكون

$$ع_٢ = \frac{ق ل^٣}{١٤ ل} = \frac{٢ ق ل^٢}{٢٨}$$

وهذا يؤدى الى النتائج الموضحة بالشكل ٣٨ بالنسبة للأربع فتحات



ش ٣٨

ويلزم الحصول على الخصوص على الأحمال القاطعة لتعيين ردود افعال نقط الارتكاز لكن بالنسبة لنقطة حينما انفقت يكون بالنسبة للفتحة الأولى

$$ع = ع_١ + \frac{س}{ل}(ع_٢ - ع_١) + \frac{١}{٢} ق س^٢ - \frac{١}{٢} ق ل س$$

ومن هذه المعادلة بأخذ المشتقة برتبة اولى يحدث مقدار الحمل القاطع ح مبينا بالمعادلة

$$ح = \frac{ق ل}{٢} - \frac{ع_٢ - ع_١}{ل} - ق س$$

بعد تغيير اشارة الطرفين

ومن هذه المعادلة بالنسبة لمبدأ الفتحة الذى فيه س = ٠ يحدث

$$ح = \frac{ق ل}{٢} - \frac{ع_٢ - ع_١}{ل}$$

وبالنسبة للنهاية الثانية للفتحة التي فيها $\text{س} = \text{ل}$ يكون

$$\text{ح}'' = \frac{\text{ق ل}}{٢} - \frac{\text{ع} - \text{ع}}{\text{ل}} - \text{ق ل} = - \frac{\text{ق ل}}{٢} - \frac{\text{ع} - \text{ع}}{\text{ل}}$$

والكمية $\frac{\text{ق ل}}{٢} = \text{ب}$ داخلة في الحساب بالنسبة لجميع الفتحات وحينئذ

فبالنسبة للفتحة الاولى يكون $\frac{\text{ع}_١ - \text{ع}_٠}{\text{ل}} = \frac{٣ \text{ ق ل}}{٢٨}$

وبالنسبة للفتحة الثانية $\frac{\text{ع}_٢ - \text{ع}_١}{\text{ل}} = - \frac{\text{ق ل}}{٢٨}$

وبالنسبة للفتحة الثالثة $\frac{\text{ع}_٣ - \text{ع}_٢}{\text{ل}} = \frac{\text{ق ل}}{٢٨}$

وبالنسبة للفتحة الرابعة $\frac{\text{ع}_٤ - \text{ع}_٣}{\text{ل}} = - \frac{٣ \text{ ق ل}}{٢٨}$

وحينئذ يكون

بالنسبة للفتحة الأولى
$$\text{ح}'_١ = \frac{\text{ق ل}}{٢} - \frac{٣ \text{ ق ل}}{٢٨} = \frac{٢٢ \text{ ق ل}}{٥٦}$$
$$\text{ح}''_١ = - \frac{\text{ق ل}}{٢} - \frac{٣ \text{ ق ل}}{٢٨} = - \frac{٣٤ \text{ ق ل}}{٥٦}$$

وبالنسبة للفتحة الثانية
$$\text{ح}'_٢ = \frac{\text{ق ل}}{٢} + \frac{\text{ق ل}}{٢٨} = \frac{٣٠ \text{ ق ل}}{٥٦}$$
$$\text{ح}''_٢ = - \frac{\text{ق ل}}{٢} + \frac{\text{ق ل}}{٢٨} = - \frac{٢٦ \text{ ق ل}}{٥٦}$$

وبالنسبة للفتحة الثالثة
$$\text{ح}'_٣ = \frac{\text{ق ل}}{٢} - \frac{\text{ق ل}}{٢٨} = \frac{٢٦ \text{ ق ل}}{٥٦}$$
$$\text{ح}''_٣ = - \frac{\text{ق ل}}{٢} - \frac{\text{ق ل}}{٢٨} = - \frac{٣٠ \text{ ق ل}}{٥٦}$$

وبالنسبة للفتحة الرابعة
$$\text{ح}'_٤ = \frac{\text{ق ل}}{٢} + \frac{٣ \text{ ق ل}}{٢٨} = \frac{٣٤ \text{ ق ل}}{٥٦}$$
$$\text{ح}''_٤ = - \frac{\text{ق ل}}{٢} + \frac{٣ \text{ ق ل}}{٢٨} = - \frac{٢٢ \text{ ق ل}}{٥٦}$$

ومن هذه المقادير تستنتج المقادير المطلقة لردود الافعال على نقط الارتكاز وهي

$$\text{ر}_٠ = \text{ح}'_١ = \frac{٢٢ \text{ ق ل}}{٥٦}$$
$$\text{ر}_١ = \text{ح}''_١ + \text{ح}'_٢ = \frac{٦٤ \text{ ق ل}}{٥٦}$$
$$\text{ر}_٢ = \text{ح}''_٢ + \text{ح}'_٣ = \frac{٥٢ \text{ ق ل}}{٥٦}$$
$$\text{ر}_٣ = \text{ح}''_٣ + \text{ح}'_٤ = \frac{٦٤ \text{ ق ل}}{٥٦}$$
$$\text{ر}_٤ = \text{ح}''_٤ = \frac{٢٢ \text{ ق ل}}{٥٦}$$

في الاقواس الخشبية والمعدنية

المعادلات الاساسية

مقدمة

القوس عتب طبيعي منحن انحناؤه متجه الى أعلى ونهايتاه مثبتتان تثبيتاً قوياً في نقطتي ارتكازها ومسألة مقاومة الاقواس كانت دائماً معتبرة من المسائل الصعبة جداً لمقاومة المواد وذلك لأنه بسبب شكل الاقواس وطرق ربطها يكون جزء من تغير شكل تلك الاقواس معدوماً بتأثير كتفي الارتكاز أو

بالأحرى

أو بالأحرى بسبب ان تلك الاقواس تكون متأثرة بردود افعال مجهولة ناتجة من الكتفين المذكورين التي يلزم ان يكون تعيينها ضروريا من مبدأ الأمر

والنظرية الابتدائية التي سنشرحها تحل المسألة بطريقة بسيطة جدا وبتقريب كاف في العمل وهي تختص بمقاومة الاقواس التي قطاعها ثابت واطرافها مفصلية وهذا التركيب هو المقبول عقلا والمستعمل على العموم

وهاك بيان السير العمومي المتبع في هذه الحالة

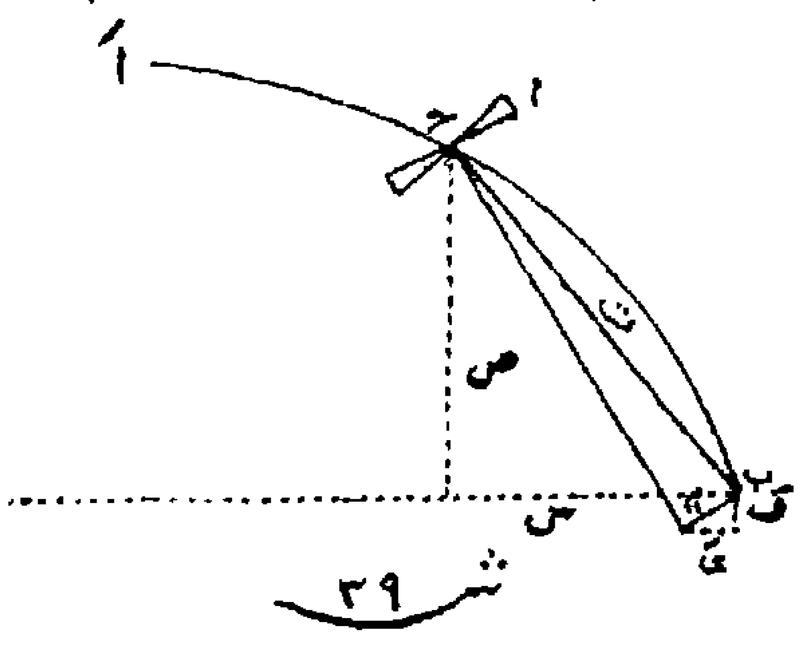
فاذا فرضت قطعة منحنية مثبتة من احد طرفيها ومطلقة من الطرف الآخر فانه يمكن تعيين الانتقال الكلي للنهاية المطلقة بسهولة كما اجرينا ذلك بالنسبة للقطع المستقيمة أو الأصوب تعيين المركبات الافقية والرأسية للانتقال المذكور الناتجة من شدد معينة تعيينا تاما في جميع نقط القطعة

وكذا يمكن على العموم كما يجب مستقيم اعتبار طرفي القوس مطلقين بتعويض نقطتي الارتكاز بردي الفعلين الناتجين منها وبعبارة أخرى يمكن تطبيق القوانين السابقة على حالة انتقالات نهايتي قوس بدلالة الحمل الواقع عليه وبدلالة ردي الفعلين المجهولين لنقطتي الارتكاز

اذا تقرر هذا يقال على وجه العموم انه مهما كان التغير الكلي الحاصل لقوس طرفاه مثبتان بدون تغيير فان الانتقالات الافقية لطرفيه المذكورين تكون معدومة وباعتبار هذا الشرط في القوانين يستنتج منها المركبات المجهولة لردود الافعال بسهولة ويكون حينئذ قد صار حل جزء عظيم من المسألة

قوانين الانتقالات

اذا فرض أن أَب شكل ٣٩ قطعة مثبتة في أ وأن نقطها المختلفة متأثرة بشدد معينة م ام ام ا... الخ فبناء على هذه الشدد يكون كل من القطاعات المختلفة للمنشور المذكور متأثرا بانثناء أو بدوران جزئي به يتعين دوران الوتر المقابل له المساوي هذا الدوران للدوران الأول أعني بعد مركز نقل القطاع المذكور عن الطرف المطلق للقطعة المفروضة



وحينئذ اذا أخذ عنصر حيثما اتفق ح طوله مساو للوحدة ورمز بحرف ء الاستطالة أو انكماش الخيوط الابعد ما يكن عن محور الحمول فانه على وجه العموم يكون

$$ء = \frac{م}{و}$$

وهذا التغير يعين انتقالا محدودا جيدا م لطرف القطعة وهذا الانتقال مرتبط مع التغير المذكور بالتناسب الآتي وهو $\frac{م_1}{ا} = \frac{ء ت}{هـ}$

الذي فيه ت رمز لطول وتر القوس ح ا هـ رمز الارتفاع الكلي للقطاع المفروض أنه منتظم

ومن هذا القانون بناء على القانون السابق يحدث

$$\frac{م_1}{ت} = \frac{م ء}{و هـ}$$

وبتحليل الانتقال م المذكور الى مركبتين احداهما افقية ى والأخرى رأسية ف واعتبار م عموديا

على الوتر ت في حدود التغيرات المسلم بها وفرض ان س ، ص هما الاحداثيان العاديان لنقطة بالنسبة للنهاية ب يكون

$$\frac{ى}{ص} = \frac{ف}{س} = \frac{م}{و هـ} \quad \text{ومنها يحدث}$$

$$ى = \frac{م}{و هـ} ص \quad ، \quad ف = \frac{م}{و هـ} س$$

وبعمل المجموعين لجميع الانتقالات المتشابهة لذلك فانه على العموم بعد الرمز بحرف ى للانتقال الافقى بتمامه المسمى بالتباعد وبحرف ف للانتقال الراسى بتمامه الذى هو عبارة عن نفس السهم يكون

$$ى = \frac{ى}{و} \left(\frac{م ص}{هـ} + \frac{م' ص'}{هـ'} + \frac{م'' ص''}{هـ''} + \ldots \right)$$

$$ف = \frac{ى}{و} \left(\frac{م س}{هـ} + \frac{م' س'}{هـ'} + \frac{م'' س''}{هـ''} + \ldots \right)$$

وفى هاتين المعادلتين س ، س' ، س'' ، ..... الخ ، ص ، ص' ، ص'' ، ... الخ تدل على الاحداثيات المتعامدة للقطاعات المتتابعة بالنسبة للنهاية ب للقطعة

قوانين المقاومة

لاجل تطبيق هذين القانونين على مقاومة الاقواس يكفى تعيين الشدد م ، م' ، م'' ، ... الخ بدلالة ردى الفعلين المجهولين لنقطتى الارتكاز او الاصوب بدلالة المركبات الافقية والراسية لردى الفعلين المذكورين لكن المجهول من ضمن هذه المركبات هى المركبات الافقية فقط التى هى عبارة عما يسمى بدفع القوس واما المركبات الراسية فهى دائما معلومة وهى عبارة عن الاحمال الخاصة الواقعة على نقطتى الارتكاز ويمكن فهم ذلك جيدا باعتبار قوس طرفاه مجتمعان معا بشداد طوله غير متغير كما هو حاصل فى كثير من الاحوال وينتج حينئذ المجهول الوحيد للمسالة اعنى الدفع الافقى من المعادلة الاولى العمومية التى يجعل فيها ى = ٠.

اذا تقرر هذا ورمزنا بحرف د للدفع المذكور شكل ٤٠ وبحرف ك للحمل الواقع على جزء القوس المحصور بين احد الطرفين وبين قطاع حيثما اتفق و بحرف ر للحمل المقابل له الواقع على نقطة الارتكاز ثم رمزنا بحروف ص ، س ، س' لابعاد تلك القوى عن القطاع المفروض فعزم الانحناء الواقع على القطاع المذكور يكون

شكل ٤٠

$$ع = م ذ = ر س - ك س' - د ص \qquad \text{مع ملاحظة ان } ذ = \frac{هـ}{ى}$$

وهو القانون الاساسى لمقاومة الاقواس

وعزم الانحناء يمكن ان تتغير اشارته على طول القوس اعنى ان الانحناء الطبيعى للقوس يزداد فى جزء منه وينقص فى الجزء الآخر وحينئذ فالتغير الحاصل لشكل الاقواس يكون حالة خصوصية من الانثناء المركب وبالمثل يمكن ان يكون للعزم المذكور مقدار او جملة مقادير اعظم مايمكن التى يلزم اعتبارها دون غيرها فى الحسابات

ومع ذلك فالقانون السابق لا يستعمل مباشرة فى حساب الاقواس لانه يرى بالسهولة ان هذه القطع تقاوم الانثناء والضغط فى آن واحد وحينئذ اذا حللنا كلا من القوى الى مركبات متعامدة بحيث تكون احداها موازية

موازية للماس للقوس فى نقطة معينة منه ورمزنا بحرف ش للمجموع الجبرى للمركبات الأخيرة المذكورة وبحرف ع لعزم انحناء القطاع المقابل لها فأن الشدة م للقطاع المذكور تكون معينة بالقانون

$$\text{م} = \frac{\text{ش}}{\text{ب}} + \frac{\text{ع}}{\text{ذ}}$$

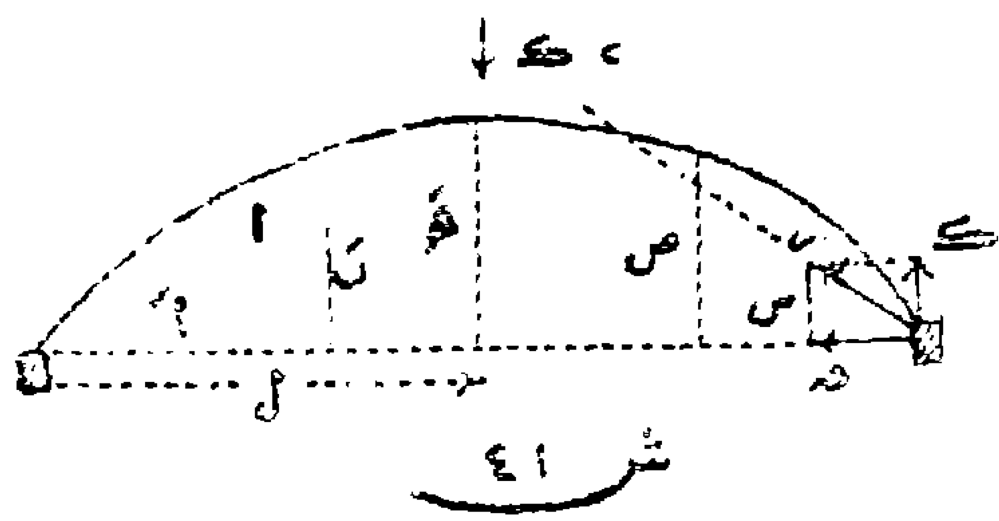
الذى فيه ب رمز لمساحة القطاع المذكور و $\text{ذ} = \frac{\text{ث}}{\text{ء}}$

ويجب اخيراً مراعاة مقاومة الاقواس كمقاومة قطع قائمة محملة أعنى انه يلزم تحديد شدة الاقواس على فرض اعتبارها مستقيمة ولا تنثنى بتأثير حمل الضغط الواقع عليها لأنه بخلاف ذلك تصير تغيرات شكل القوس عظيمة جداً والاستدامة تكون خطرة

الحمل واقع فى الوسط

قوس بسيط الشفق

اذا فرض قوس سعته ٢ل وارتفاعه هَ شكل ٤١ محمل بثقل قدره ٢ك فى قمته فأنه بناء على ما تقدم يحدث كل من نقطتى الارتكاز رد فعل رأسى مساو الى ك نصف الحمل الكلى ورد فعل افقى مجهول عبارة عن الدفع ولنرمز له بحرف ه



وباعتبار أن القوس مثبت من قمته بتأثير الحمل وبتأثير ردى الفعلين الواقعين فى أحد طرفيه فأن الشدة م أى المقاومة فى اى نقطة احداثياها س ، ص بالنسبة للنهاية الأخرى تكون معينة من المعادلة

$$\text{م ذ} = \text{ك س} - \text{ه ص}$$

وبالمثل الشدة مَ فى نقطة أخرى احداثياها سَ ، صَ تتعين من المعادلة

$$\text{مَ ذ} = \text{ك سَ} - \text{ه صَ} \quad \text{وهكذا}$$

وبوضع مقادير الشدد المستخرجة من المعادلات المذكورة فى القانون العمومى لتباعد الاقواس فأنه يحدث على التوالى

$$\text{ى} = \frac{٢}{\text{ذوه}} \left[(\text{ك س} - \text{ه ص})\,\text{ص} + (\text{ك سَ} - \text{ه صَ})\,\text{صَ} + \cdots \right]$$

وبجعل $\frac{٢}{\text{ذوه}} = \text{و}$ يكون

$$\text{ى} = \text{و} \left[\text{ك} (\text{س ص} + \text{سَ صَ} + \cdots) - \text{ه} (\text{ص}^{٢} + \text{صَ}^{٢} + \cdots) \right] \quad \text{أو}$$

$$\text{ى} = \text{و} (\text{ك مج س ص} - \text{ه مج ص}^{٢})$$

ونفرض هنا حصول التثبيت المطلق لنقطتى الارتكاز وحينئذ يلزم ان يكون ى = ٠ ويحدث

$$\text{ك مج س ص} = \text{ه مج ص}^{٢}$$

اذا تقرر هذا واعتبرنا ان الاحداثيات الرأسية كاجزاء سطحية سمكها ثابت فأن مج س ص يدل على عزم سطح نصف القطعة التى يحددها القوس بالنسبة لنقطة الارتكاز الاقرب وان مج هو الذى يمكن

وضعه بهذه الصورة ٢ مجص × ١/٢ ص يدل على ضعف عزم السعة المذكورة بالنسبة لخط المبدأ وحينئذ اذا رمزنا بحرف ١ لنصف القطعة المذكورة وبحرفي ٢ ا ت لاحداثيي مركز ثقلها بالنسبة لنقطة ارتكازها يحدث

ك ٢ا = ٢ ف ا ت ومنها يحدث

$$\frac{ف}{ك} = \frac{١}{٢} \frac{ا}{ت}$$

أعني ان النسبة بين الدفع والحمل على كل من نقطتي الارتكاز تساوي نصف النسبة بين الاحداثي الافقي والاحداثي الرأسي لمركز ثقل نصف القطعة المكونة من القوس بالنسبة لنقطة الارتكاز المقابلة لها ويرى حينئذ ان تعيين الدفع في هذه الحالة يؤول الى تعيين مركز ثقل سطحي وهي مسألة سهلة الحل بقواعد علم الميكانيكا الابتدائية

القوس المكافئ (*)

بالنسبة لقوس قطع مكافئ يكون

$$ا = \frac{٥}{٨} ل \quad ، \quad ت = \frac{٢}{٥} هـ$$

ومنها يحدث $$ف = \frac{٢٥}{٣٢} \frac{ل}{هـ} ك$$

وعزم الانحناء في اي نقطة احداثياها س ، ص يتعين في هذه الحالة من الارتباط

$$ع = م ذ = ك (س - \frac{٢٥}{٣٢} \frac{ل}{هـ} ص)$$

وهذا العزم يكون معدوما بالنسبة للنقطة التي فيها

$$س = \frac{٢٥}{٣٢} \frac{ل}{هـ} ص$$

وهي النقطة التي تقابل فيها المحصلة ر لردى الفعلين ف ، ك القوس المفروض وقد يوجد عزم مقداره نهاية عظمى بين هذه النقطة ونهاية القوس وعزم آخر مقداره نهاية عظمى في قمة القوس اعني في نقطة تأثير الحمل ومقدار كل من هذين العزمين هو

$$ع = \frac{١}{١٢} ك ل \qquad (**)$$

$$ع = \frac{٧}{٣٢} ك ل \quad \text{على التناظر} \qquad (***)$$

وعلى كل حال فانه يسهل تعيين كل من العزمين المذكورين مباشرة برسم المحصلة ر وأما من جهة السهم فانه صغير جدا دائما ومقداره في هذه الحالة هو

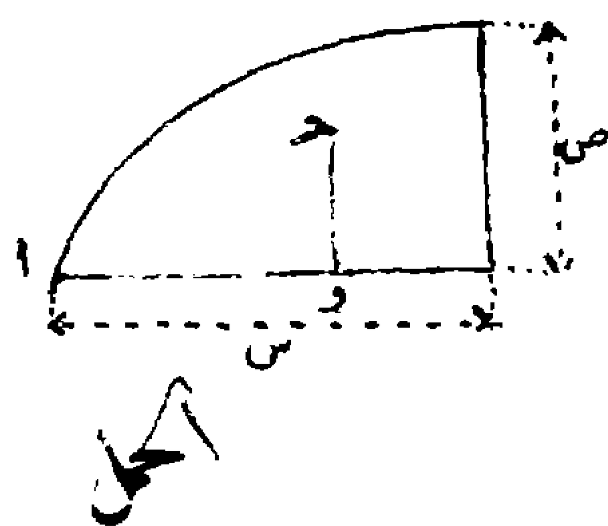
$$ف = \frac{١}{١٢٨} م ك ل^{٣}$$

(*) مركز ثقل قطعة محصورة بين قوس مكافئ وبين رأسي وافقي يتعين كما يأتي

$$و ا = \frac{٣}{٥} س$$

$$و حـ = \frac{٣}{٨} ص$$

$$\text{والمساحة} = \frac{٢}{٣} س ص$$



الحمل واقع فى نقطة حيثما اتفقت

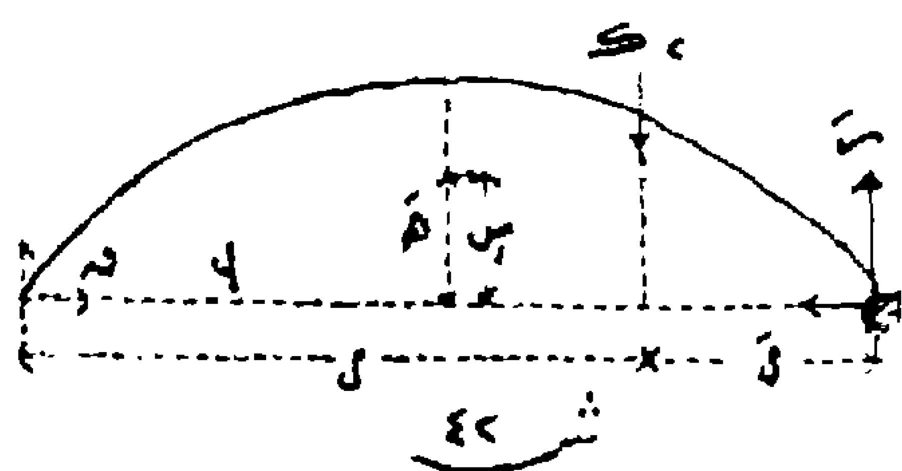
حيث ان تغيرات شكل القوس ليست متماثلة فأن تباعد الطرفين بالنسبة لنقطة تأثير الحمل لا يؤول الى صفر مطلقا أى لا ينعدم مطلقا ولكن نرى بالسهولة انه مهما كان التغير النهائى فان التباعدين المذكورين يكونان متساويين مختلفى الاشارة أعنى يكون

$$ى + ىَ = ٠$$

فأذا رمز بالرمز س للمساحة الكلية للقطعة المكونة من القوس شكل ٤٢ وبالرمز ص لارتفاع مركز ثقل القطعة المذكورة عن مستوى المبدأ وبالرمزين م ، مَ لمساحتى القطعتين الواقعتين فى جهتى الحمل المفروض وبالرمزين أ ، أَ للأحداثيين الافقيين لمركزى ثقلها بالنسبة لنقطتى الارتكاز المجاورتين لهما فأن الشرط السابق يؤدى الى المعادلة

$$٢ ه س ص = م أ + مَ أَ$$

وأما مركبة الحملين الواقعين فى نقطتى الارتكاز فانهما يتعينان من المعادلتين



$$ر = \frac{لَ}{ل} ك ، رَ = \frac{ل}{ل} ك$$

بعد ملاحظة أن ٢ ل رمز لسعة القوس ، ك رمز للحمل

فهى حالة ما يكون القوس قطعا مكافئا نوجد بالسهولة أن

$$\frac{ه}{ك} = \frac{١٥}{١٦} \frac{ل لَ}{ه ل^٣} \left[\frac{٢}{٣}(ل^٢ + لَ^٢) - \frac{١}{٤} \frac{ل^٣ + لَ^٣}{ل} \right]$$

(**) لاثبات معادلة $ع = \frac{١}{٢٠} ك ل$ نضع ف رمزا للبورة ، ٢ = الكمية الثابتة

$$ه ف = ى$$

معادلة القطع المكافى بالنسبة للمحورين سَ ، صَ هى $سَ^٢ = ٤ ٢ صَ$ ولكن

$سَ = ل - س$ ، $صَ = هَ - ص$ فيكون

$$(ل - س)^٢ = ٤ ٢ (هَ - ص)$$

وبناء على كون $ى = ه ى = هَ + ٢$ يكون

$(هَ + ٢)^٢ = ل^٢ + (هَ - ٢)^٢$ ومنها $٤ ٢ = \frac{ل^٢}{هَ}$ وحينئذ يكون

$(ل - س)^٢ = \frac{ل^٢}{هَ} (هَ - ص)$ ومن هذه المعادلة $ص = \frac{هَ (٢ ل س - س^٢)}{ل^٢}$

وبالوضع فى معادلة العزم يحدث $ع = ك \left[س - \frac{٥ س^٢}{٣٢ ل} (٢ ل س - س^٢) \right]$ أو $ع = \frac{ك}{٣٢ ل} (٥ س^٣ - ١٨ ل س)$ ...... (١)

وبأخذ المشتقة ومساواتها بصفر يحدث $١٥ س - ١٨ ل = ٠$. ومنها يحدث $س = \frac{١٨}{١٥} ل = \frac{٩}{٢٥} ل$

وبالوضع فى معادلة (١) يحدث $ع = \frac{ك}{٣٢ ل} \left[\frac{٨١ \times ٢٥}{٢٥ \times ٢٥} ل^٢ - \frac{١٨ \times ٩}{٢٥} ل^٢ \right]$ أو

$- ع = \frac{٨١}{٢٥ \times ٣٢} ك ل = \frac{٨١}{٨٠٠} ك ل$ أو $- ع = \frac{١}{١٠} ك ل$ وهو المطلوب

الحمل موزع بانتظام بالنسبة للافقى فوق جميع الفتحة

اذا فرض ان ق شكل ٤٣ هو الحمل الموزع بانتظام بالنسبة للوحدة الطولية من الافقى مقدرا بالكيلوجرام وان ك هو الحمل الكلى وان ٢ل هو سعة القوس المفروض فانه يكون

$$ك = ق ل \quad ، \quad ٢ ق = ك$$

وحينئذ فعزم الانحناء لنقطة احداثياها س ، ص بالنسبة لأحد الطرفين يكون مبينا بالمعادلة العمومية

$$ع = م ذ = ك س - \frac{١}{٢} \frac{ك}{ل} س^٢ - د ص$$

وبادخال مقادير الشدد م الناتجة من هذه المعادلة فى المعادلة العمومية للتباعد وجعل المعادلة المذكورة مساوية للصفر يتحصل

$$د \, مج \, ص^٢ = ك \, مج \, س \, ص - \frac{١}{٢} \frac{ك}{ل} \, مج \, س^٢ ص$$

فاذا رمز أيضا بالرمز ا لمسحة نصف القطعة المكونة من القوس وبالرمزين ٢ ، ٢َ لاحداثيى مركز ثقلها يحدث

$$مج \, ص^٢ = ٢ ٢َ ا \quad ، \quad مج \, س \, ص = ٢ ا$$

وأما من جهة المجموع الثالث فانه يمكن كتابته بالصورة الآتية وهى

$$\frac{١}{٢} \frac{ك}{ل} \, مج \, س^٢ ص = \frac{١}{٢} ك \, مج \, س \left(\frac{س}{ل} ص \right)$$

وهذه الصورة تدل على مجموع عزم الاحداثيات الرأسية ص بعد تصغيرها بالنسبة المقابلة لها $\frac{س}{ل}$ وحينئذ بعد رسم المنحنى بناء على الاحداثيات الرأسية المذكورة والرمز للسعة المحدودة به بحرف ٢ وللاحداثى الافقى لمركز ثقل تلك السعة بحرف ٢َ يكون

$$مج \, س \left(\frac{س}{ل} ص \right) = ٢ ٢َ$$

ولكن مقدار السعة ٢ هو $\quad ٢ = \frac{١}{ل} \, مج \, س \, ص = \frac{١}{ل} \, ٢ ٢َ$

وعلى ذلك يكون $\quad \frac{١}{٢} \frac{ك}{ل} \, مج \, س^٢ ص = \frac{١}{٢} \frac{ك}{ل} \, ٢ ٢َ ٢$

وبوضع هذه المقادير فى المعادلة العمومية يتحصل نهائيا

$$\frac{د}{ك} = \frac{١}{٢} \frac{٢}{٢َ} \left(١ - \frac{١}{٢} \frac{٢َ}{ل} \right)$$

وحينئذ فتعيين الدفع يؤول أيضا الى تعيين مركز ثقل سطح معين

(***) لاثبات معادلة ع = $\frac{٧}{٣٢}$ ك ل نقول $\quad ع = ك ص \left(\frac{س}{ص} - \frac{٥}{٣٢} \frac{س^٢}{ع} \frac{ل}{ص} \right)$ ثم يقال أن النهاية العظمى الى ع عين النهاية العظمى الى ك × $\frac{ص}{ص}$ س أو ك س أو س ولكن النهاية العظمى الى س هى ل

وحينئذ ع يكون نهاية عظمى اذا كان س = ل ولكن فى هذه الحالة يكون ص = ف وحينئذ يكون

$$ع = ك \left(ل - \frac{٢٥}{٣٢} ل \right) \quad \text{أو}$$

$$ع = \frac{٧}{٣٢} ك ل \quad \text{وهو المطلوب}$$

العوس

القوس المكافى

اذا اعتبر أن الخط المحدد للمساحة م فى الظاهر خط مستقيم دائما فأنه فى هذه الحالة يكون

$$م' = \frac{٢}{٣} ل$$

وبناء على ذلك يحدث

$$\frac{ه}{ك} = \frac{١}{٢} \; \frac{م'}{ل}$$

وبالنسبة لقوس قطع مكافى اذا أخذ المقدار التقريبي السابق يكون

$$ه = \frac{١}{٢} \; \frac{ل}{و} \; ك$$

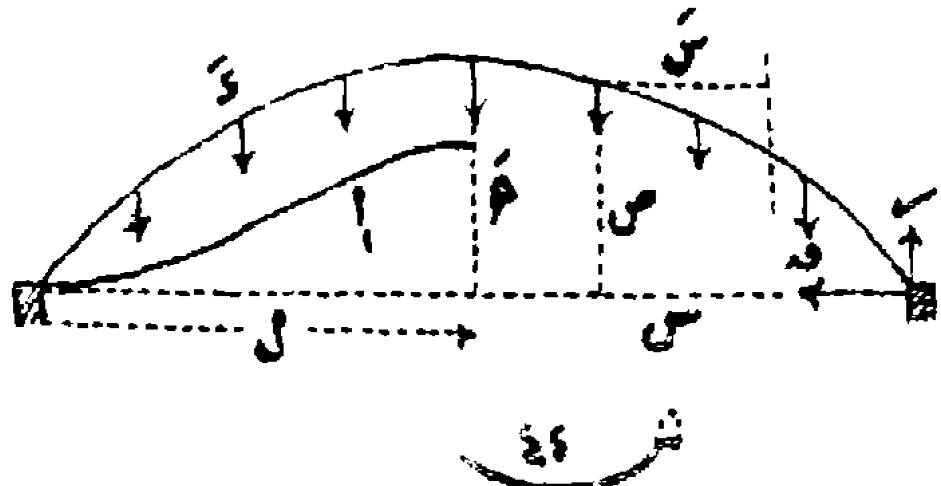
وهو مقدار مضبوط للدفع فى الحالة المفروضة

فاذا وضع هذا المقدار فى القانون الاصلى للمقاومة يرى أن عزم الانحناء فى كل نقطة من القوس يكون معدوما وبعبارة اخرى يقال ان القوس لا يقاوم الا الحمل المضغوط وفى هذه الحالة يمكن اعتباره مشابها لجنزير مقلوب معروضا صليبا لقنطرة معلقة وفى هذه الشروط يرى بالسهولة أن الضغط فى قمة القوس يساوى المدافعة ه وأما من جهة الضغط الأعظم فى المبدئين فأن مقداره

$$ت = \sqrt{ه^٢ + ك^٢}$$

الحمل موزع بانتظام على القوس

اذا فرض ان ك الحمل بالنسبة لوحدة الطول وأن ىَ جزء من القوس محسوبا من أحد الطرفين الى قطاع احداثيا مركز ثقله س، ص وأن سَ البعد بين مركز الثقل المذكور وبين الرأسى المار بمنتصف القوس الجزئى المفروض وفرضنا أخيرا ان ك = لهء هو الحمل الواقع على نصف القوس ويكون



$$ه ع ش = ك [ع س ص - ع (\frac{ىَ}{ى} \; \frac{سَ}{س} ص) س]$$

وأذا اقمنا من كل نقطة الأحداثيات الرأسية المناسبة الى $\frac{ىَ}{ى} \; \frac{سَ}{س}$ ص فأن هذه الاحداثيات تحدد مساحة م التى بالسهولة يمكن حساب نسبتها الى المساحة م لنصف قطعة القوس وحينئذ بناء على الرموز السابقة يكون

$$\frac{ه}{ك} = \frac{١}{٢} \; \frac{م'}{ل} - \frac{١}{٢} \; \frac{م}{م} \; \frac{م'}{ل}$$

مسألة - المطلوب تعيين قطاع قوس مكافى من الخشب سعته ٢٠ متر وزاوية فتحته ٦٠° وان ارتفاع قطاعه المستطيل يلزم ان يكون ضعف قاعدته وأن الحمل الموزع بأنتظام على الافقى مقداره ٥٠٠ كيلوجرام بالنسبة للمتر الطولى وأن الشدة محددة على اعتبار $\frac{١}{٥}$ معامل المقاومة وهو ٨٠ كيلوجرام على السنتيمتر المربع

لذلك يقال حيث ان زاوية فتحة القوس ٦٠° فنصف قطره يساوى سعته وسهمه أو ارتفاعه يكون ٣٤ ان من نصف قطره اى ٢،٦٨ متر وحينئذ يكون مقدار الدفع الافقى هو

$$ه = \frac{١}{٢} \frac{ل}{ه} ك = \frac{١}{٢} \frac{١٠٠٠٠}{٥٦٨} \times ٥٠٠ \times ١٠ = ٩٣٢٨ \text{ كيلوجرام}$$

وأما مقدار الضغط فى المبدئين فهو

$$ت = \sqrt{ه^٢ + ك^٢} = ١٠٥٠٠ \text{ كيلوجرام تقريبا}$$

فاذا فرض ان القوس متأثر بضغط متوسط منتظم قدره ١٠٠٠٠ كيلوجرام فان قطاعه يستنتج من أكبر المقدارين المحددين للفرضين الآتيين

أولا ـ الحساب بالضغط خاصة

القطاع ـ شكل ٤٥ = ه ح = $\frac{ه^٢}{٢} = \frac{ت}{م} = \frac{١٠٠٠٠}{٨٠} = ١٢٥$ أو أن $ه^٢ = ٢٥٠$ سنتيمتر مربع

ثانيا بالانثناء اى الانحناء (القطعة قائمة ومحملة)

$$ه = \frac{٢}{٥} \times \frac{٢٤}{٥} \times \frac{ذ و ه}{ل^٢} \quad (*)$$

ومنها بملاحظة ان الطول الكلى ل للقوس مساو الى ٢٠٤٧ر١ مرة لنصف القطر اى ٩٤٤ر٢٠ متر

يحدث $ذ ه = \frac{ه^٤}{١٢} = \frac{٢٥ (٢٠٩٤/٤) ١٠٠٠٠}{٤٨ \times ١٠^٥}$

ومنها يحدث $ه^٢ = ١٦٥٦$ سنتيمتر مربع

وحينئذ يلزم اتخاذ هذا المقدار الأخير ويستنتج منه أن

$$ه = ٤٠٦ \text{ مليمتر}$$

$$ح = ٢٠٣ \text{ مليمتر}$$

ش ٤٥

فى المجموعات المتعشقة

يقال للجسمين الصلبين متعشقين تعشيقا مفصليا متى لم يمكن ان يأخذ احدهما حول الآخر سوى حركات دورانية حول نقطة مشتركة بينهما بحيث تكون تلك الحركات غير متغيرة فى كل منهما

وهذه النقطة المشتركة تسمى بمركز التعشيق المفصلى ويقال للتعشيق المذكور كروى حيث انه يمكن حصول الدوران حول محور حيثما اتفق مارا بالنقطة المعلومة

(*) $ذ = \frac{ك}{ى} = \frac{ك}{\frac{ه}{٢}} = \frac{٢ك}{ه}$ هو رمز لمعامل المرونة وهو يساوى ٩٠ بالنسبة للخشب وبالنسبة للمتر المربع قانون القوائم على العموم مهما كان جنس مادتها ومهما كان قطاعها حتى كانت مفصلية من الطرفين مثل الاولى هو $ه = \frac{٢٤}{٥} \times \frac{ذ و ه}{ل^٢}$

وفى هذا القانون ه رمز للحمل الواقع على الحامل من اعلا مقدرا بالكيلوجرام ، ل رمز لطول القائم ، ه رمز لارتفاع القطاع ، و رمز لمعامل المرونة ، ذ يساوى $\frac{ك}{ى} = \frac{ك}{\frac{ه}{٢}}$ أو $ذ = \frac{٢ك}{ه}$

و ـ رمز لعزم قصور القطاع

والتعشيق المفصلي الكروي قليل الاستعمال ولا يوجد له سوى مثل واحد وهو التعشيق ذو الركبة والخلاف

وأما التعشيق المفصلي الكثير الاستعمال فهو التعشيق الاسطواني أو التعشيق ذو المفصلة فالجسمان المتعشقان بمفصلة لا يمكن لأحدهما أن يأخذ حول الآخر سوى حركة دورانية واحدة حول محور ثابت في كل منهما

ومن الواضح أنه اذا كان توازن جملة متعشقة حاصلا في حالة التعشيق المفصلي الكروي فانه يكون بالأولى حاصلا اذا وضعت في مركز التعشيق مفصلة حيث ان ذلك يرجع الى فرض محور واحد ممكن حصول الحركة حوله

وأخيرا فالتوازن يكون أيضا محققا جيدا اذا فرض حصوله بدون احتكاك مطلقا حيث ان احتكاك الأجسام المتماسة يقاوم القوى الصغيرة العارضية التي يمكنها تحريك الأجسام المذكورة

واعتبار الجمل المتعشقة مفيد على الخصوص في انشاء النجارة الخشبية أو المعدنية واستدلالها الانشائية يلزم أن تكون حاصلة بدون مدخل للتعاشيق ولا الاحتكاكات الناشئة منها حيث ان تلك التعاشيق والاحتكاكاتها ضعيفة جدا وسريعة التغير ولا تقاوم بطريقة أكيدة ومستمرة قوة تميل لأحداث الدوران وحينئذ فيلزم اعتبار التعاشيق كمفاصل تسمح فقط لحصول الحركات التي تأثيرها لا يفصل نقط الأجسام الصلبة المجتمعة مع بعضها بتلك المفاصل عن بعضها

فاذا فرض كما في شكل ٤٦ جملة أجسام متعشقة مع بعضها مثل ا ب ، ب ح ، ح ء ، ء ه ، ... الخ وأن أحد هذه الأجسام ا ب حاصل له في نقطة الارتكاز الثابتة ا رد فعل ر وفي مركز التعشيق المفصلي ب رد فعل رَ من الجسم المجاور له فان الجسم المذكور يحدث لنقطة الارتكاز المذكورة وللجسم المجاور له ردي فعلين مساويين ومضادين لردي الفعلين ر ، رَ وحينئذ فالجسم ا ب يمكن اعتباره كمنفرد ومتأثر بالقوتين ر ، رَ وبالقوى الخارجة ق الواقعة عليه وأن حركته الوحيدة الممكنة هي دورانه حول المحور ا ب ويكون متزنا حينئذ اذا كان مجموع عزم القوى ق بالنسبة للمحور ا ب معدوما وبالعكس

ش ٤٦

وبناء على هذا الشرط تكون جملة القوى ق آيلة الى قوتين ت ، تَ احداهما واقعة في ا والأخرى في ب وبتحصيل القوتين ر ، ت ثم القوتين رَ ، تَ لا توجد سوى قوتين ح ، حَ واقعتين في ا ، ب وحينئذ فيلزم أن يكون الجسم متزنا بتأثير القوتين المذكورتين وهذا لا يتأتى الا اذا كانت القوتان ح ، حَ متجهتين في اتجاه ا ب ومتساويتين ومختلفتي الجهة ولأجل ذلك يلزم أن يكون مسقطا ر ، ت على مستوى عمودي على ا ب متساويين ومتضادين من نفسهما وكذلك مسقطا رَ ، تَ وزيادة على ذلك يلزم أن يكون حاصل جمع مسقطي ر ، رَ على المستقيم ا ب مساويا لحاصل جمع مسقطي ت ، تَ على المستقيم المذكور وحينئذ فحاصل جمع المسقطين ت ، تَ على ا ب يكون هو المعين فقط ولكن المسقطين لا يكونان

معينين وجملة القوتين يمكن تعويضها بجملة قوتين آخريين مكافئة للأولى

وقد قال المعلم برنيس في عدم التحديد هذا أنه لا يوجد شئ يساعد على معرفة لأنه في الحقيقة الطبيعية ردود افعال نقط الارتكاز لها مقادير معينة بالنسبة لكل نقطة ولكن للوصول الى معرفتها لا يكفي فقط معرفة أن الجسم اب متزن في الحالة الراهنة لأنه حيث كان التوازن لا يختل باضافة قوتين متساويتين ومختلفتي الاتجاه ومتجهتين في اتجاه اب وكان يوجد عدد غير محدود من جمل ردود الافعال المناسبة لحالة التوازن فلا يمكن معرفة الجملة التي تكون في الحقيقة الا اذا علمت جميع الأحوال السابقة على حالة التوازن اعني حالة وضع الجسم على نقط ارتكازه وتغيراته بتأثير القوى الواقعة عليه وبالجملة فأنه يحصل التحديد متى اعتبرت جمل كل منها مركبة من جملة أجسام مرتبطة مع بعضها ارتباطا مفصليا

وحيث ان كل جسم من الاجسام المفصلية متأثر بقوى خارجية مجموعها مرموز له بالرمز قَ بالنسبة للجسم الاول وبالرمز قً بالنسبة للجسم الثاني وهكذا فالرمز قَ يلزم ان يحتوي على رد فعل نقطة الارتكاز الثابتة ا بخلاف الرموز الاخرى قً فلا يلزم ان يحتوي احد منها على ردود الافعال الناتجة من الاجسام المفصلية لأن ردود الافعال المذكورة هي قوى داخلية للجملة وزيادة على ذلك فأنها متساوية ومتضادة مثنى

ولنرمز بالرمز رَ لمحصلة انتقال القوى قَ في ب اعني لمحصلة جميع القوى قَ المنتقلة بالتوازي لنفسها في نقطة ب ثم نرمز بالرمز رً لمحصلة انتقال المجموعتين قَ ، قً في نقطة حـ ثم نرمز بالرمز رٌّ لمحصلة انتقال المجموعين قَ ، قً مع قٌّ في نقطة ء .... وهكذا

فاذا فرض أن الثلاثة اجسام الأول مفصلية من اليسار فيلزم ان تتزن بشرط ان يوقع في ء قوة مساوية لرد فعل الجسم الرابع على الثالث وحينئذ يلزم ان يكون مجموع عزم القوى الخارجية قَ ، قً ، قٌّ بالنسبة لمحور حيثما اتفق مار بنقطة ء معدوما وزيادة على ذلك يلزم أن تكون الست معادلات العمومية للتوازن محققة بالنسبة لمجموع الجملة وبالعكس اذا كانت هذه الشروط محققة فالجملة تكون متزنة

وحينئذ اذا اعتبرنا الجسم الأول اب فالقوى الخارجية قَ الواقعة عليه يكون لها عزم معدوم بالنسبة لنقطة ب ومحصلتها الوحيدة تساوي رَ فالقوة رَ المذكورة تكون حينئذ هي التأثير الواقع من الجسم اب على الجسم التالي له بحـ وبالعكس رد فعل بحـ على اب يكون قوة قدرها ـ رَ ويمكن اعتبار الجسم اب كمنعزل بشرط ان يضاف للقوى الخارجية رد الفعل ـ رَ

ومما سبق ينتج النظريتان الآتيتان

الاولى ــ العزم الناتج من جميع القوى الخارجية الواقعة بين احدى نهايتي الجملة وبين مركز تعشيق مفصلي حيثما اتفق يلزم ان يكون معدوما بالنسبة لمركز التعشيق المفصلي المذكور

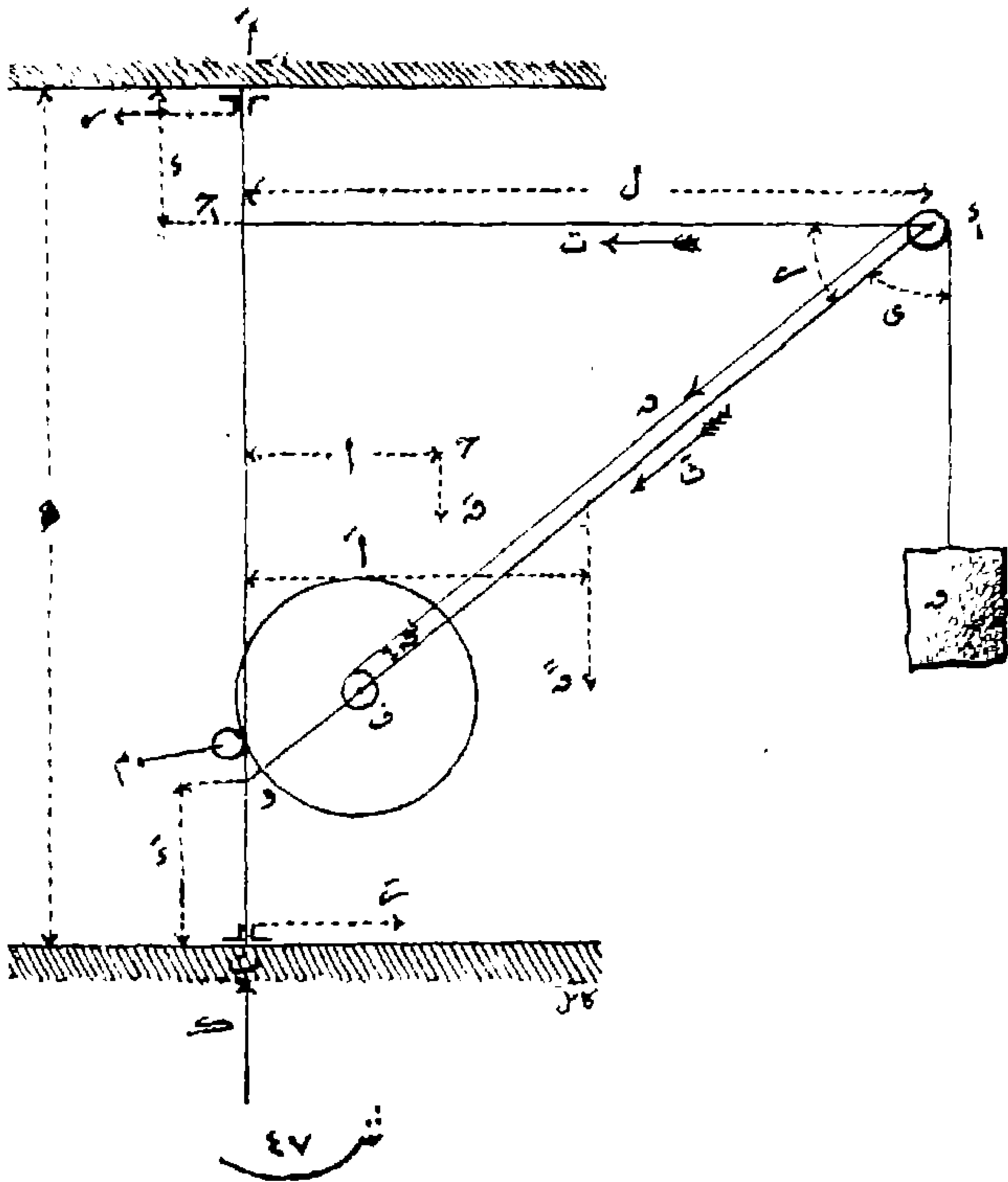
الثانية

الثانية — التأثير الحاصل من احد أجسام الجملة على الجسم المجاور له يساوي محصلة أثقال القوى الواقعة بين نهايتي القطعة وبين مركز التعشيق المفصلي الفاصل للجسمين المفروضين

والنظريتان المذكورتان تنطبقان على الجمل المفصلية البسيطة التي فيها كل جسم لا يحتوي الا على مركزي تعشيق ولكن قد يشاهد كثيرا في العمل جمل مفصلية مركبة فيها جسم أو عدة اجسام لها جملة مراكز تعشيق وحينئذ فلا يمكن ايجاد قوانين عمومية لها الا في النادر ويقتضي معاملة كل حالة بطريقة مخصوصة ولنذكر هنا بعض امثلة من التي توجد كثيرا في العمل فنقول

في حساب عيار جسيم معد لرفع الاحمال الثقيلة صورته موضحة في شكل ٤٧

هذه الآلة تتركب من قائم رأسي اَ تَ له في قمته أصبع اَ وفي قاعدته محور دوران تَ وكلاهما داخل في سكرجة فالعليا مثبتة في السقف والسفلى في الأرضية وهذا القائم أي المحور يدور حينئذ حول الرأسي ومتعشق بذراع التعليق جـ ء المرتكز في ء على الذراع المائل ء و والحمل واقع في ده ومحمول بحبل أو بجنزير مار على البكرة ء ونازل بالموازي للذراع المائل ليلتف على الملفاف ف الذي ضلعه م ولا نشتغل بالملفاف الذي يمكن ان يكون له طرس أو طرسان اللذان يحسبان بحسب القوة المحركة المستعملة وبحسب الحمل الاعظم المطلوب رفعه



ش ٤٧

ولنلاحظ ان مجموع الجملة متزن بتأثير القوى الخارجة وهذه القوى هي

أولا — الثقل ده وثانيا — ردا الفعلين ر، رَ الناتجتين من السكرجتين على المحور الرأسي الذي يفعل عليها تأثيرا جانبيا وثالثا — الثقل ق للآلة بتمامها المؤثر في مركز الثقل الواقع على بعد ا من المحور الرأسي للدوران ورابعا — رد الفعل الرأسي ء الناتج من السكرجة على محور الدوران تَ

وحيث ان العزم الناتج من جميع هذه القوى بالنسبة لنقطة حيثما اتفقت من المستوى الشامل لها يلزم أن يكون معدوما فاذا أخذنا العزم المذكور بالنسبة لنقطة تَ يحدث

$$ر \times ه = ق \times ا + ده \times ل \quad \text{ومنها يحدث}$$

$$ر = \frac{ق \times ا}{ه} + ده \times \frac{ل}{ه} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

وبأخذ العزم الناتج من جميع القوى المذكورة بالنسبة لنقطة اَ أيضا يحدث

$$\text{رَ} \times \text{هـ} = \text{قَ} \times \text{١} + \text{ده} \times \text{ل}$$ ومنها يحدث

$$\text{رَ} = \frac{\text{قَ} \times \text{١}}{\text{هـ}} + \text{ده} \times \frac{\text{ل}}{\text{هـ}}$$

وحينئذ فردا الفعلين ر ، رَ يكونان متساويين ومقدار قطري الصباعين المقابلين لهما يلزم أن يكونا متساويين كذلك ويرى أيضا ان ردى الفعلين المذكورين يكونان كبيرين كلما كان كل من ١ ، ل كبيرا وكلما كان هـ صغيرا مع بقاء باقي الاشياء على اصلها

ولكن في العمل مقدار الطول الافقي ل للعيار يكون غالبا مساويا للارتفاع ومقدار ١ يكون مساويا في الظاهر لربع الارتفاع وفضلا عن ذلك نسلم ايضا بأن ثقل العيار يكون مساويا للثقل الاعظم الذي يمكن رفعه وحينئذ فيكون مقدار كل من ردى الفعلين مساويا الى $\frac{٥}{٤}$ ده

وحيث ان رد الفعل ر يحدث انحناء الجزء ١جـ من المحور الرأسي فينشأ عنه عزم انحناء ويكون مقداره الأعظم الحاصل في نقطة جـ هو ر × ء وبالمثل رد الفعل رَ يحدث عزم انحناء اعظم رَ × ءَ في نقطة و وعلى ذلك فيلزم تقريب نقطتي جـ ، و من نهايتي المحور الرأسي بقدر الامكان

وأحيانا يكون التقريب كبيرا نوعا بحيث لا يخشى قط من عزم الانحناء ويحذف الجزء جـ و من المحور الرأسي فاذا اعتبرت الأحبال والقطع الصلبة المؤثرة في نقطة ء يمكن ان يفرض ان الذراع ء جـ والحبل ء و مقطوعان بشرط ان يستعاض رد افعل الجزئين المحذوفين بالقوتين ت ، ده وحينئذ فالذراع المائل ء و يكون مطلقا ويمكن ان يدور حول نقطة و ويكفي لبيان توازنه ان يجعل العزم الناتج من جميع القوى الخارجة المؤثرة عليه معدوما بالنسبة لمركز التعشيق المفصلي و وعلى ذلك اذا رمز لثقل الذراع المائل المذكور بالرمز قَ ولبعد نقطة تأثيره عن المحور الرأسي بحرف ١َ فيكون

$$\text{قَ}\,\text{١َ} + \text{ده}\,\text{ل} = \text{ت}\,(\text{هـ} - \text{ء} - \text{ءَ}) + \text{ده}\,\text{سه}$$

وفي هذا القانون سه رمز لنصف قطر مقر البكرة ولنصف قطر الملفاف ومنه يحدث

$$\text{ت} = \frac{\text{قَ}\,\text{١َ}}{\text{هـ} - \text{ء} - \text{ءَ}} + \frac{\text{ل} - \text{سه}}{\text{هـ} - \text{ء} - \text{ءَ}} \times \text{ده}$$

ومن هذه المعادلة يستخرج مقدار رد الفعل الواقع على الذراع الافقي للعيار

ففي الحالة التي تكون فيها ء ، ءَ ، سه صغيرة بالنسبة الى هـ يحدث

$$\text{ت} = \frac{\text{قَ}\,\text{١َ}}{\text{هـ}} + \text{ده} \times \frac{\text{ل}}{\text{هـ}}$$

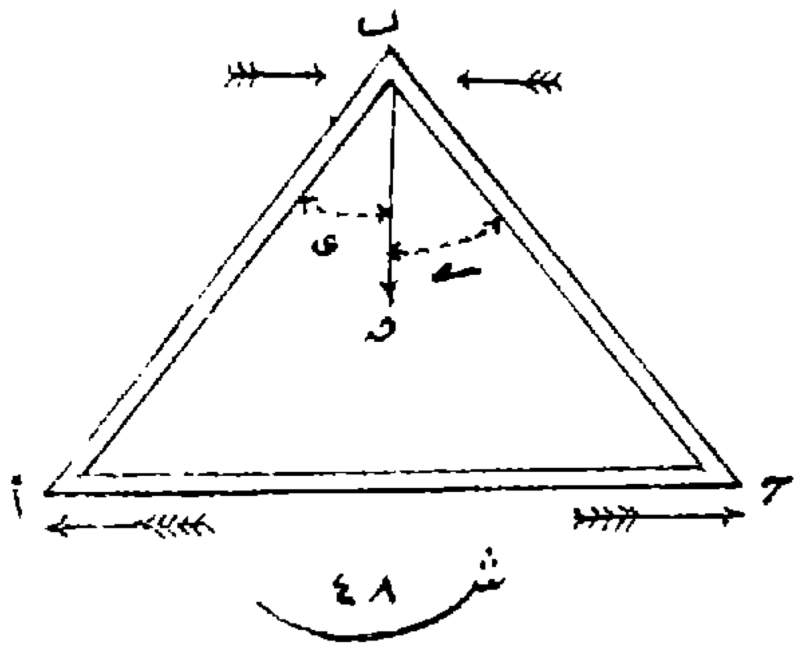
وبقطع النظر عن قَ واعتبار ان طول الذراع الافقي يساوي ارتفاع العيار يكون

$$\text{ت} = \text{ده}$$

ومقدار الضغط تَ للذراع المائل يتعين بملاحظة ان جميع القوى الواقعة في ء تكون متزنة وحينئذ يحدث

$$\text{تَ} = \text{و} + \text{ده}\ \text{حاى} + \text{ت}\ \text{حاس}$$

في حساب العيار المسمى بالمعزى أو المقص - اذا فرضنا معزى أو مقصا ذا فرعين ا ب ، ا حـ كما في شكل ٤٨


ش ٤٨

قمته ب مثبتة في المستوى الرأسي ا ب حـ بواسطة حبال متأثرة بقوى مختلفة بحسب سعة رجات الجملة المادية

وفرض ثقل مثل ق معلق في قمة المقص المفروض فان هذا الثقل يحدث في القطعتين المائلتين ضغطين يتحصل مقدار كل منهما من متوازي اضلاع القوى كما يأتي

$$ق \times \frac{حا ے}{حا(ى+ے)} ، ق \times \frac{حا ى}{حا(ى+ے)}$$

ومقدار الدفع الافقي المنقول من كل من القطعتين المائلتين على قمة المقص هو

$$ق \times \frac{حا ى حا ے}{حا(ى+ے)}.$$

وهذا الدفع يوجد أيضا في نقطتي الارتكاز ا ، حـ اللتين تتباعدان عن بعضهما اذا لم يتغلب الاحتكاك على الدفع المذكور أو اذا كان الاحتكاك ضعيفا ولم توجد قطعة افقية أو شداد ا حـ كاف لمقاومة الجذب الحاصل له من المدافعة الافقية المذكورة

ومتى كانت الزاويتان ى ، ے متساويتين فضغط كل من فرعي المقص يكون مساويا الى

$$\frac{ق}{٢ حتا ى}$$

ومقدار الدفع الافقي يكون مساويا الى

$$\frac{١}{٢} ق طا ى$$

في حساب مقص بصورة أخرى كالموضحة في شكل ٤٩ ـ هذا المقص يتركب من حاملتين مائل ا ب مثبت بواسطة الحبل ا حـ والثقل ق معلق في قمته

فهذا الثقل يحلل الى مركبتين احداهما الضغط في اتجاه ا ب ومقداره يساوي

$$\frac{ق حا ے}{حا(ے - ى)}$$

والثانية الجذب في اتجاه ا حـ ومقداره يساوي

$$\frac{ق حا ى}{حا(ے - ى)}$$

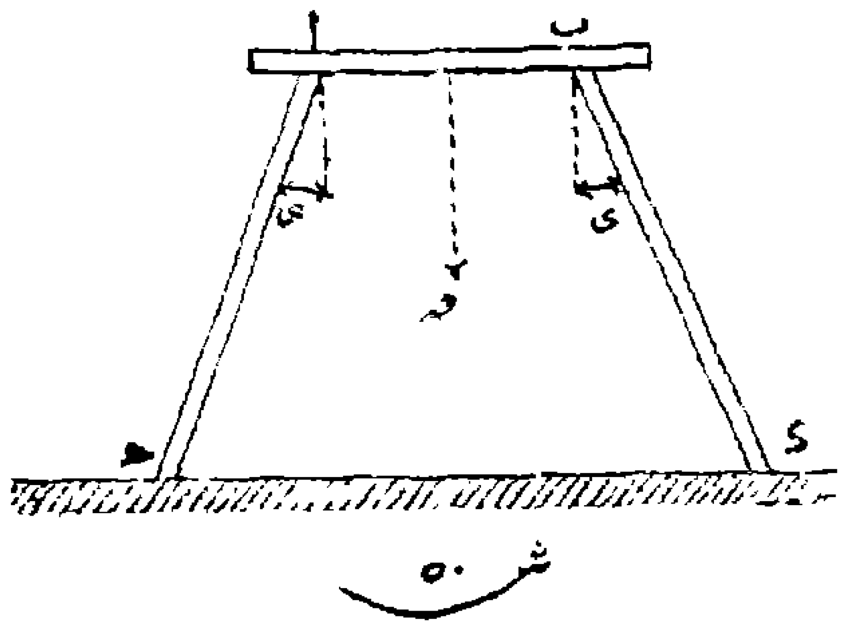
وهذان المقداران يتحصلان مباشرة من متوازي اضلاع القوى

ش ٤٩

وعلى العموم يستعاض ساق القوة ا ب بمثلث مثل ا ب حـ من الشكل السابق وحينئذ من بعد معرفة مقدار القوة الضاغطة على رأس المثلث المذكور يسهل حساب ابعاد القطع المركبة له كما تقدم

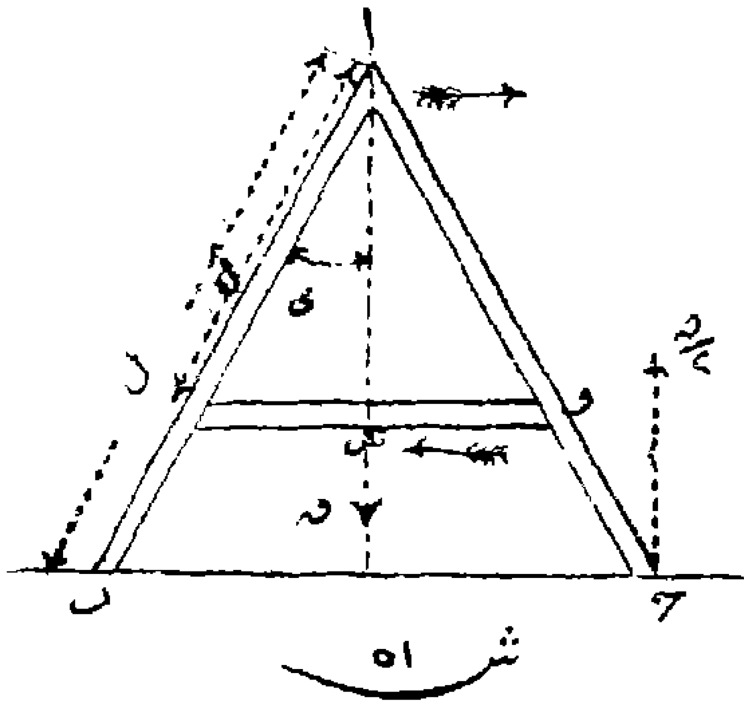
ومتى مر على قمة المقص حبل لرفع الحمل ق يلزم اعتبار شدته في حساب القوى المنتقلة على القطع المختلفة كما اجرى ذلك في البيار الجسيم

في حساب جملة تعاشيق مختلفة ـ اذا فرض مقص كما في شكل ٥٠ مركب من عارضة افقية ا ب مثبتة على ساقين قوبين ا حـ ، ب ء فالقوة ق الواقعة في وسط العارضة المذكورة تحدث للساقين المائلين


ش ٥٠

ضغطان مساوٍ كل منهما الى $\frac{ق}{٢ حاى}$ ويلزم لحصول التوازن
ان تكون زاويتاى متساويتين كي تنعدم المركبتان الافقيتان
ثم ان الرجلين حـ ا ، ا ى يميلان الى التباعد عن بعضهما بتأثير المدافعة
الافقية التي مقدارها

$$\frac{1}{٢} ق \ طاى$$


ش ٥١

واذا فرض جملون بسيط كما في شكل ٥١ مكون من ضلعين مائلين ومن شداد
افقي ى و وكان المطلوب ايجاد مقدار الشد ش للشداد المذكور
من بعد معلومية الحمل ق الواقع في قمة الجملون يقال ان الضلع المائل
اح مثلا يمكن اعتباره مطلقا بتأثير رد الفعل $\frac{ق}{٢}$ لنقطة الارتكاز
وبقوة الشد ش وبالدفع الافقي الواقع في القمة وحينئذ باخذ العزم
بالنسبة للرأس المذكورة بناء على شروط التوازن يحدث

$$\frac{ق}{٢} ل \ حاى = ش \ لَ \ حاى$$ أو

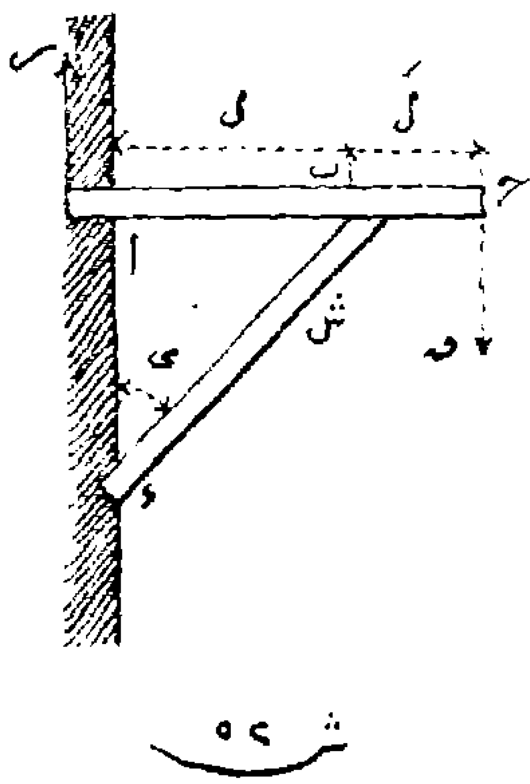
$$ش = \frac{ق}{٢} \times \frac{ل}{لَ} \ طاى$$ أو

$$ش = \frac{ق}{٢} \times \frac{1}{\frac{لَ}{ل}} \ طاى$$

وبفرض ان $\frac{لَ}{ل} = س$ يحدث

$$ش = \frac{ق}{٢ س} \ طاى$$

واذا فرض عتب افقي اح كما في شكل ٥٢ لاحدى نهايتيه ا ثابتة بحيث يمكن ان يدور العتب المذكور حولها اثناء
تحميل النهاية الأخرى المطلقة بحمل قدره ق مع كون العتب المذكور مقوى
من أسفل بالذراع ب ى يرى أنه في نقطة ا يحدث من أسفل الى أعلا رد فعل ر
ورد الفعل المذكور يلزم ان يتزن مع الحمل ق بالنسبة لنقطة ب وحينئذ فيكون
مساويا الى ق × $\frac{لَ}{ل}$ وعليه فنقطة ب تكون محملة بحمل كلي قدره ق + ر أعني
بالحمل ق × $\frac{ل+لَ}{ل}$


ش ٥٢

وينتج من ذلك حينئذ ضغط قدره

$$\frac{ق(ل+لَ)}{ل \ حاى}$$

واقع على الذراع ب ى وجذب افقي قدره

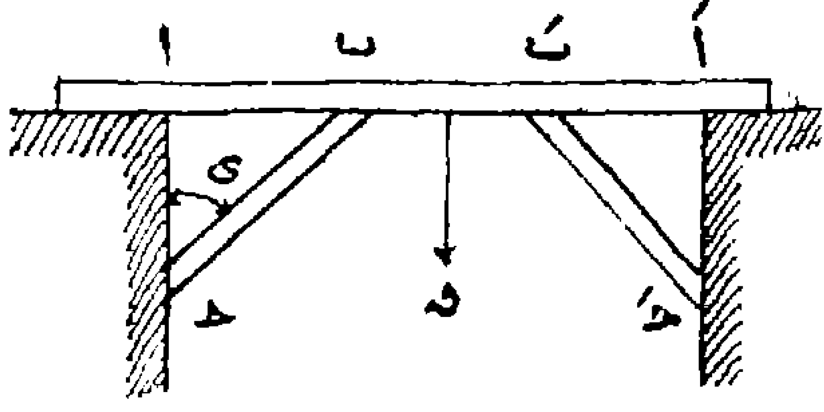
$$ق \times \frac{ل+لَ}{ل} \ طاى$$

واقع على الجزء اب واما من جهة الجزء ب حـ فانه يكون متأثرا بعزم انحناء متغير ويمكن أن يأخذ
شكلا متساوي المقاومة مع ملاحظة أن التأثير الاعظم يكون حاصلا في القطاع الرأسي ب الذي يكون
فيه مقدار عزم الانحناء مساويا الى ق لَ وحينئذ يمكن اعتبار القطعة مثبتة في هذا القطاع حيث ان المماس

للخط

الخيط المتوسط فيه يكون أفقيا

واذا فرض أيضا التعشيق الكثير الاستعمال في القناطر الخشبية المركب كما في شكل ٥٣ من عتب افقي مرتكز على نقطتي ارتكاز ا، اَ ومقوى في نقطتي ب، ت بذراعي ب ح، ت حَ ويحمل اما بأثقال متعددة أو بثقل منتظم فانه يمكن اعتبار القطعة ا اَ كعتب ذى ثلاث فتحات وحساب عزم الانحناء على نقط الارتكاز ثم عزم الانحناء في الفتحات بواسطة نظرية برتو وكلابيرون ثم حساب الحملين القاطعين الواقعين في نقطتي ب، ت بناء على النظرية المذكورة أيضا



ولا يخفى أن الحملين القاطعين المذكورين يحللون الى الضغطين على اتجاهي الذراعين والى جذبين واقعين في الجزئين ب ا، ت اَ ولكن الأحسن أن يتبع في العمل ما ذكره المعلم نافيي اذا أريد زيادة التأكد من الاستدامة بأن يبتدأ بحساب القطعة ا اَ على اعتبارها بغير اذرع ثم يحسب كل من الذراعين ح ب، حَ ت باعتباره منفردا أيضا وحاملا للثقل ده في اتجاه محوره

ش ٥٣

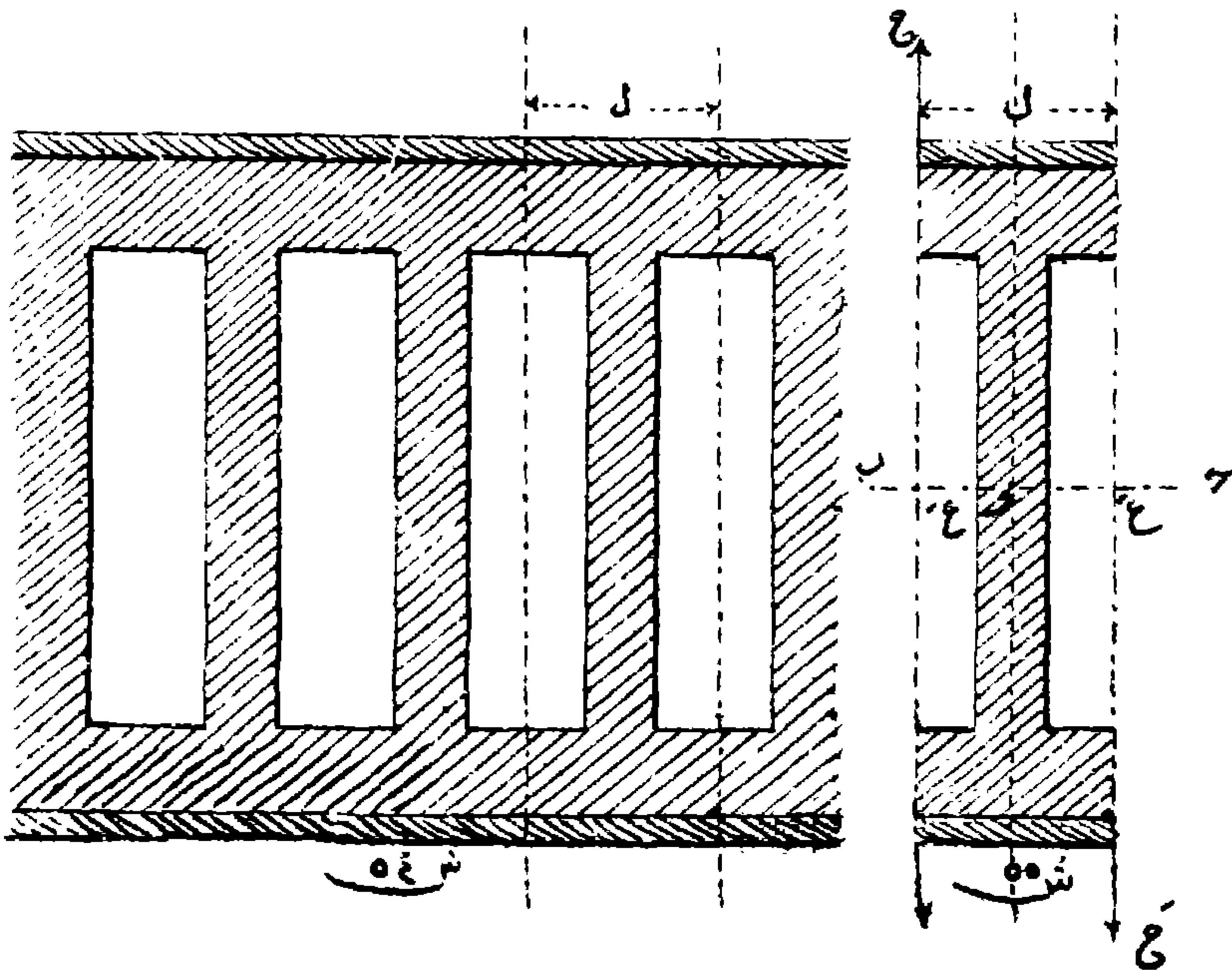
وقد شرحنا ذلك في احد الامثلة السابقة وحيث ان كلا من الحمل المحمولة بهذه الكيفية يكون اضعف من الحملة الحقيقية لمقادير الابعاد المعينة بحسبها كما ذكر تكون فيها الكفاية وزيادة

وكذلك اذا فرضت قطعة محملة بحمل ثابت وحمل عارضي موزعين بانتظام ولوحظ ان التعشيق في ب، ت يضعف القطعة الافقية فانه يمكن فرض قطعها في النقطتين المذكورتين وحساب الجزئين ا ب، اَ ت كعتبين افقيين مرتكز كل منهما على نقطتي ارتكاز ثم يحسب كل من الذراعين ح ب، حَ ت مع تحميلها بما يقابل الجزء ب ت وبالحمل المنتقل من الجزئين الجانبيين على نقطتي ارتكازهما ب، ت

وما ذكرناه من الامثلة البسيطة كاف في كثير من الأحوال في انشاء القناطر الخشبية

في الاعتاب ذات الروح المفرغة والمثلثية والشبكية

في الأعتاب ذات الروح المفرغة ـ حيث ان التفاريغ التي تصنع في ارواح الاعتاب الزهر على الخصوص تؤدى الى زخرفة في الاعتاب المذكورة فقد استعملت من اجل ذلك وحينئذ نشتغل كيفية حساب هذا النوع من الاعتاب فنقول



اذا فرض عتب ذو تفاريغ مستطيلة كما في شكل ٥٤ واعتبر جزء من العتب المذكور محصور بين مستويين رأسيين مارين بمنتصفي تفريغين

متتابعين كما في شكل ٥٥ فهذا الجزء يتزن بتأثير الحمل ود ل الواقع عليه مع الرمز حرف و للثقل بالنسبة للمتر الطولي وبتأثير القوى الموجودة في مستوى القطاعين وهذه القوى على اليسار هي الحمل القاطع ح والقوى المحدثة لعزم الانثناء ع

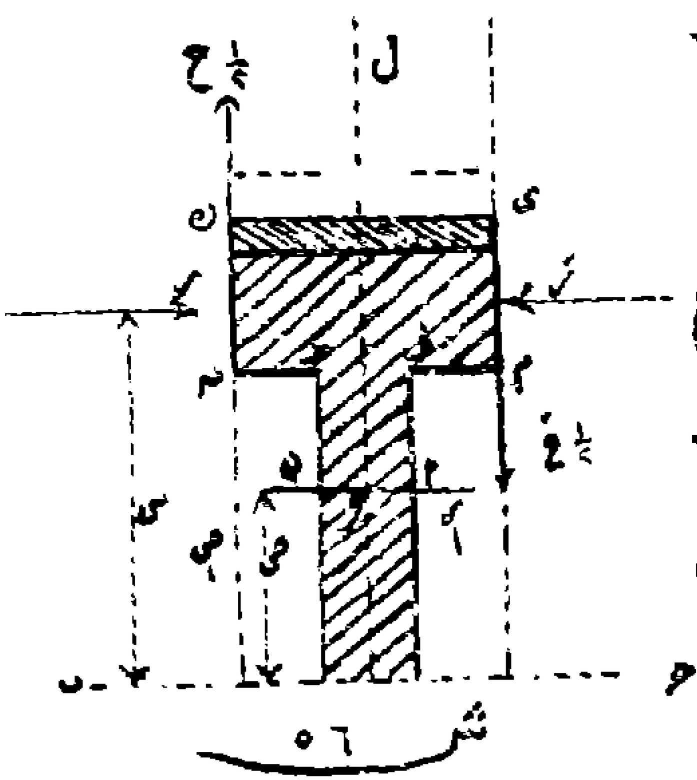
وعلى اليمين هي الحمل القاطع حَ والقوى المحدثة لعزم الانثناء عَ وحينئذ باسقاط القوى المذكورة على محور رأسي يحدث

$$\text{حَ} = \text{ح} - \text{و د ل} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

وبأخذ العزم بالنسبة لنقطة و يحدث

$$\text{عَ} - \text{ع} = \frac{\text{د ل}}{2}(\text{ح} + \text{حَ}) = \frac{\text{د ل}}{2}(2\text{ح} - \text{و د ل}) \ldots\ldots (2)$$

ولنعتبر الآن قطعة من هذا الجزء شكل ٥٦ محدودة بمستوى افقي ا م متباعد عن محور المحمول بمسافة ص كما في الشكل فهذه القطعة تكون متزنة بتأثير الحمل الواقع عليها والقوى الموجودة في الجزئين المقطوعين وهذه القوى على اليسار هي نصف الحمل القاطع أعني ½ ح والمحصلة ر لردود الافعال التي مع نظيرتها من أسفل تحدث العزم ع وعلى اليمين هي ½ حَ والمحصلة رَ لردود الافعال التي مع نظيرتها من اسفل تحدث العزم عَ ومن اسفل المحصلة ر١ لردود الافعال الموجودة في المستوى الافقي ا م التي عزمها ع١



وحينئذ اذا اسقطت القوى الواقعة على القطعة المذكورة على اتجاه المحور حيحدث

$$\text{ر}_1 = \text{رَ} - \text{ر}$$

وبأخذ العزم بالنسبة لنقطة و التي هي منتصف ا م يحدث

$$\text{ع}_1 = \frac{\text{د ل}}{4}(\text{ح} + \text{حَ}) - (\text{رَ} - \text{ر})(\text{س} - \text{ص})$$

ولكن حيث أن $\quad \text{ر س} = \frac{1}{2}\text{ع} \quad ، \quad \text{رَ س} = \frac{1}{2}\text{عَ}$

فيكون $\quad (\text{رَ} - \text{ر})\text{س} = \frac{1}{2}(\text{عَ} - \text{ع})$

وبناء على معادلة (٢) يحدث

$$\text{ع}_1 = (\text{رَ} - \text{ر})\text{ص} = \text{ر}_1\text{ص} \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

ولم يبق علينا الا تعيين رَ - ر فاما رَ فهي محصلة التأثيرات العنصرية المتولدة بالانثناء في القطاع ك ن ومقدارها بموجب ما تقدم هو

$$\text{ر} = \frac{\text{م}}{\text{ى}} \text{ح ث ى}_1$$

الذي فيه م رمز لمقدار الشدة العظمى للقطاع اي رمز لمعامل المقاومة ، ى رمز لبعد ابعد الخيوط عن خط المحمول ، ث رمز لقطاع عنصري حيثما اتفق ، ى١ رمز لبعد مركز ثقله عن خط المحمول

وحيث أن $\quad \text{ع} = \frac{\text{م ك}}{\text{ى}}$

فيكون

فيكون $\frac{م}{ء} = \frac{ع}{هـ}$

وعليه يكون $ر = \frac{ع}{هـ} \times ت \, ء$

ومثل ذلك يكون $ر' = \frac{ع'}{هـ} \times ت \, ء$

واذن يكون $ع' = ر' - ر = \frac{ع' - ع}{هـ} \times ت \, ء$ أو

$ع' = (ك ح - \frac{1}{2} ه ك^2) \frac{ت \, ء}{هـ}$ .... (٤)

والعلامة ت تطبق على كل القطاع المسقط فى ك ه ويتج من ذلك ان الفصوص الرأسية المكونة للروح عرضة فى كل نقطة الى قوة انزلاق ع والى عزم انحناء ع = ع ص وتحصل النهاية الكبرى فى الجزء ف ط اعنى فى محل اجتماع الفص بالرأس وبناء عليه يحسب القطاع المجهول بالمعادلة

$\frac{م \, هـ}{ء} = ع \, ص$

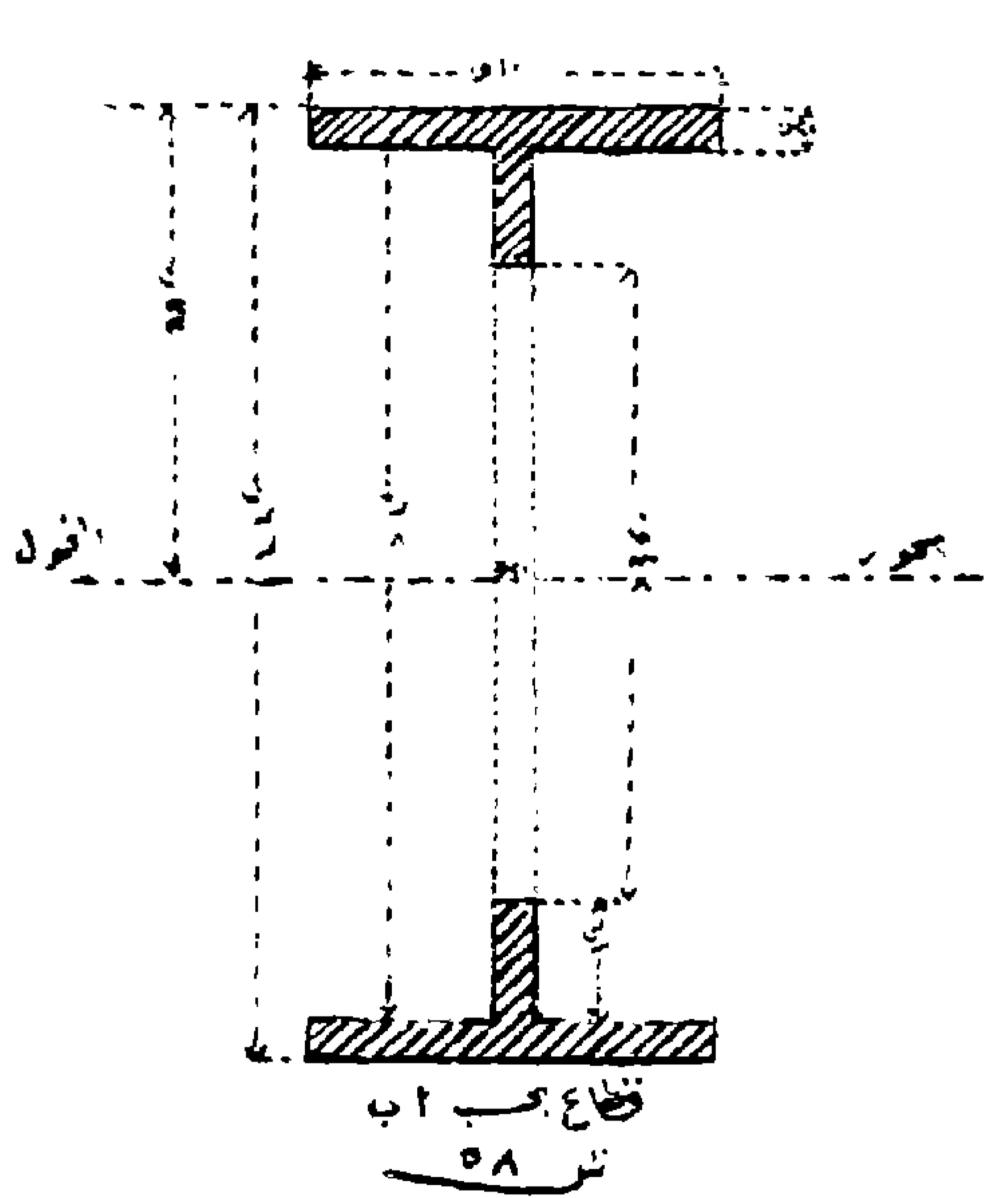
التى فيها ص رمز للبعد بين ف ط وخط الخمول

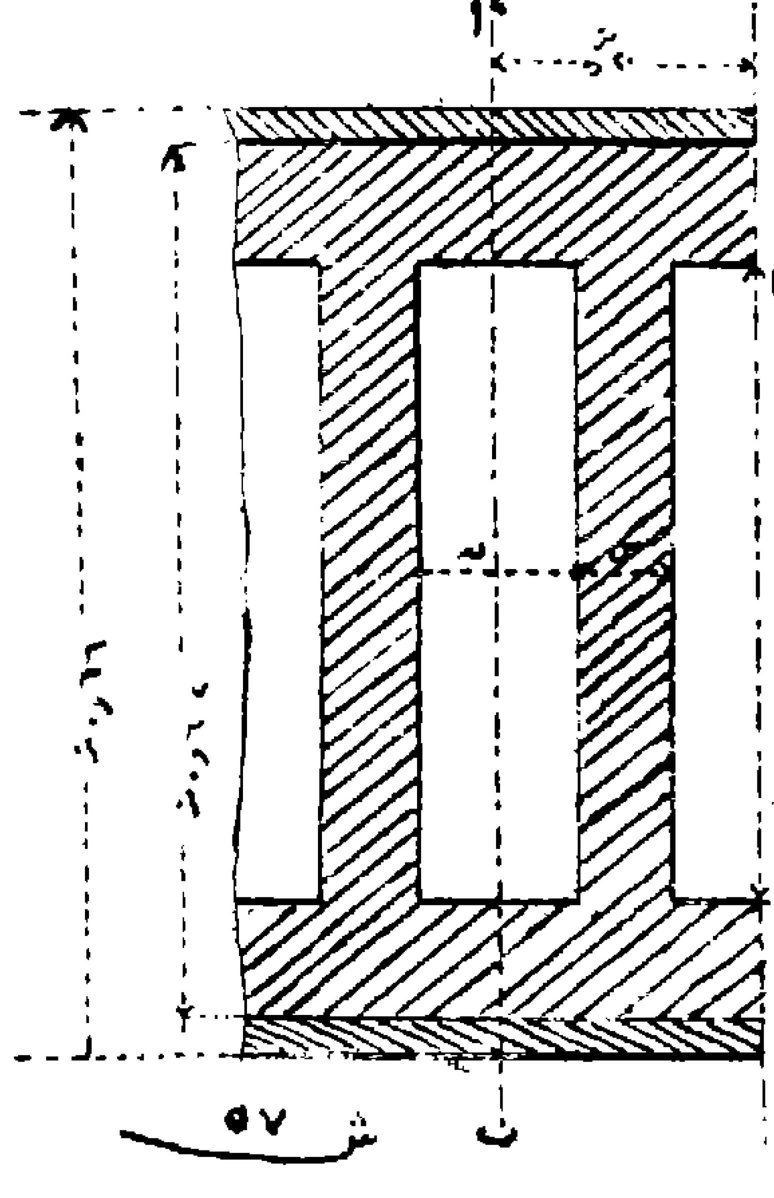
ويجب بعد ذلك ان يتحقق مما اذا كان هذا القطاع مقاوما للحمل ع أو الا وفق $\frac{3}{2}$ ع

وأما مجموعة العتب فتطبق عليها القوانين المعتادة مع جعل هـ ، $\frac{هـ}{ء}$ هما المقداران المنسوبان للقطع الحادث اعلى واسفل التفريغ ويلزم زيادة على ذلك ان قطاع الجزء الموجود فوق التفريغ يكون مقاوما للانثناء الناشئ عن $\frac{1}{2}$ ح اعنى أنه اذا رمز بحرف ه لعرض التفريغ يكون القطاع المذكور مقاوما الى ه × $\frac{ح}{2}$

ثم ان هذا القطاع أيضا يجب ان يتحمل الحمل القاطع $\frac{1}{2}$ ح

مثال رقمى ـ لنفرض عتبا من الزهر قطاعه كالمبين فى شكل ٥٧ و ٥٨ اعنى ان ارتفاعه ٦٦ر٠ متر وعرضه ١٠ر٠ متر وسمك كل من الروح والرأسين ٢٠ر٠ متر والمسافة بين كل تفريغين متتابعين من حدود الى آخر ٢٠ر٠ متر وارتفاع التفريغ ٤٢ر٠ متر ونفرض أن المسافة بين نقطتى الارتكاز ٣٠٠ متر وأن معامل المقاومة يساوى ٤×١٠^٦ كيلوجرام على المتر المربع فحينئذ يكون





$هـ = \frac{1}{12} (١٠ر٠ × ٦٦ر٠^3 - ٠٨ر٠ × ٦٢ر٠^3 - ٠٢ر٠ × ٤٢ر٠^3)$

او $هـ = ٠٠٠٦٨٣٤٦ر٠$

$\frac{هـ}{ء} = \frac{هـ}{٣٣ر٠} = ٠٠٢٠٧١٠٩ر٠$

وبذلك يكون الحمل الذى يمكن ان يحمله العتب مع الأمن على المتر الطولى بعد الرمز لطول العتب بحرف ل هو

ن = ٨م ح / ء ل² = ٨/١٠٠ × ٤ × ١٠^٦ × ٠٫٠٠٠٢٠٧١٠٩ أو

ن = ٦٦٢٫٧٥ كيلوجرام

ومقدار الحمل القاطع الأعظم فوق احدى نقطتى الارتكاز يكون

ح = ن ل / ٢ = ٣٣١٣٫٧٥ كيلوجرام

وفي هذه الحالة مح ث١ = ١/٨ (٠٫١٠ × ٠٫٦٦² − ٠٫٠٨ × ٠٫٦٢² − ٠٫٠٢ × ٠٫٤٢²) أو

مح ث١ = ٠٫٠٠١١٦

وحيث هنا ل = ٠٫٢٠ متر فيكون مقدار حمل الانزلاق بناء على معادلة (٤) هو

ي١ = (٠٫٢٠ × ٣٣١٣٫٧٥ − ٠٫٢٠² / ٢ × ٦٦٢٫٧٥) × ٠٫٠٠١١٦ / ٠٫٠٠٠٦٨٣٤٦ = ١١٠٢٫٣ كيلوجرام

وحيث كان ع١ = ي١ ص فيكون

ع١ = ١١٠٢٫٣ × ٠٫٢١ = ٢٣١٫٤ كيلوجرام متر

واذا رمز بحرف س لعرض الفص الواحد يكون

٢٣١٫٤ = ٤ × ١٠^٦ × ش × ٠٫٠٢ / ٦ ومنها يحدث

س = ٠٫١٣١٧ متر

ولاجل تحقيق المقاومة للانزلاق نبحث عما اذا كانت المعادلة

٠٫٠٢ × س × ٤٠٠٠٠٠ = ٣/٢ ي١

متحققة أم لا

وحيث كان مقدار الطرف الاول للمعادلة المذكورة هو ١٠٥٣٦ ومقدار الطرف الثاني هو ١٦٥٣٫٤٥ وكان مقدار الطرف الأول اكبر من مقدار الطرف الثانى فتكون المعادلة المذكورة محققة اعنى ان الفص يقاوم قوة الانزلاق وزيادة

وكذا في هذه الحالة قطاع أحد الجناحين ى م = ب مسطحه يساوى ٠٫٠٠٤ متر مربعا و ح/٢ = ١٦٥٦٫٨٧٥ فاذن يكون

ح / ٢ب = ٤١٤٢١٩

وهو مقدار اقل من من معامل المقاومة م = ٤٠٠٠٠٠

ولأجل التحقق مما اذا كان القطاع المذكور مقاوما للعزم ن × ح/٢ أم لا يقال

ان عزم مقاومة القطاع المذكور هو

م ع / ء = ٤ × ١٠^٦ × ٠٫٠٠٠٣٤١٧٣ / ٠٫٣٣ = ٤١٤٢٫١٦

وحيث أن ن = ٠٫٢٠ − س = ٠٫٢٠ − ٠٫١٣١٧ = ٠٫٠٦٨٣ و

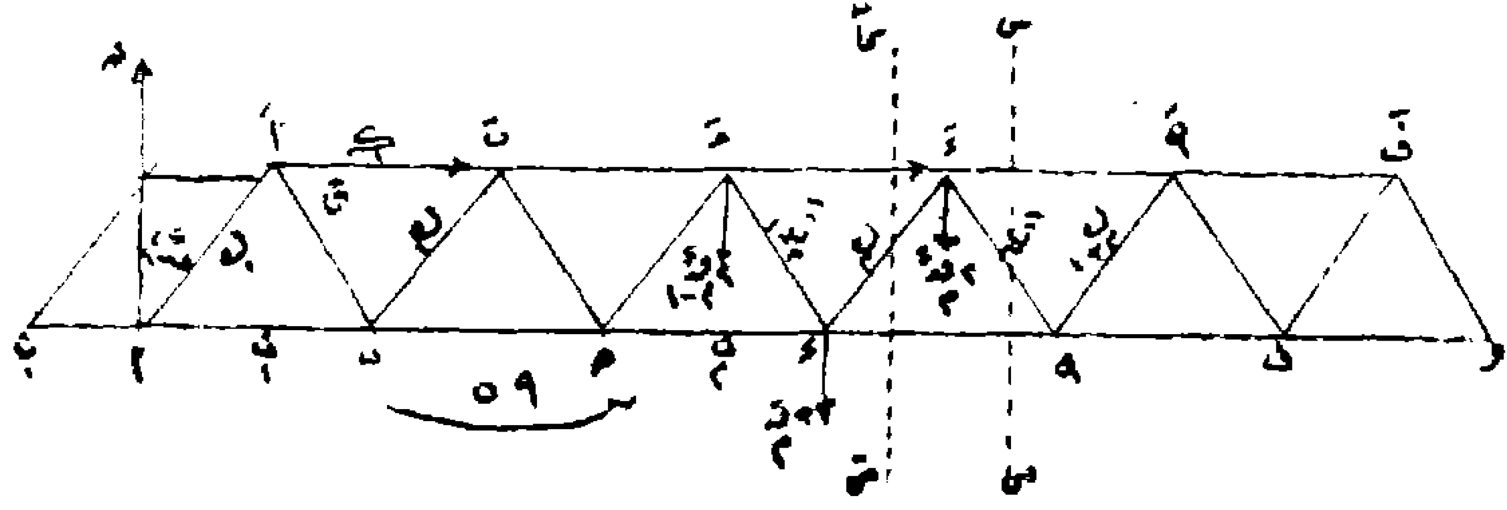
١/٢ ح = ١٦٥٦٫٨٧٥ فيكون

ن × ح/٢ = ١١٣٫١٦٥

وهذا المقدار اصغر بكثير من مقدار عزم مقاومة القطاع المفروض أعنى ان القطاع المذكور يقاوم للعزم ن × ح/٢ وزيادة

فالاعتبار

فى الاعتاب ذات الروح المثلثية — هذا النوع من الاعتاب المبين فى شكل ٥٩ يتركب من رأسين افقيين اب هـ ، أ آ ب ... مجتمعين معا بواسطة قطع مائلة صانعة مع الخط الرأسى زاوية ى وحساب هذا النوع من الاعتاب يعين ابتداء مقدار رد الفعل ره الواقع من نقطة الارتكاز على نهاية العتب بناء على الحمل الواقع على العتب المذكور ويسلم أن



جميع القطع التى تتقاطع فى رؤوس الخط المنكسر ١ آ ب ... مفصلية فى تلك الرؤوس ومن السهل تعيين مقدار الشد أو الضغط الواقع على كل من القطع المذكورة بالطريقة الرسمية بواسطة متوازى أضلاع القوى

وحينئذ بالابتداء من النهاية ١ فأن رد الفعل ره يحلل الى جذب فى الرأس اب والى ضغط فى القضيب ١ آ وبانتقال هذا الضغط فى آ وتحصيله مع الحمل الخارج الواقع فى آ فأن محصلتها تتوزع فيما بين الفتحة الاولى آ ب من الرأس العليا وبين الشداد آ ب الذى يكون حينئذ متأثرا بشد

وحينئذ تكون نقطة ب متأثرة بقوتين احداهما الجذب المتجه فى اتجاه اب والأخرى الجذب المتجه فى اتجاه آب ومحصلة هاتين القوتين مع الحمل الذى يمكن ان يكون واقعا مباشرة فى نقطة ب من الرأس السفلى للعتب تحلل الى قوتين احداهما فى اتجاه ب هـ والأخرى فى اتجاه ب ب

وباجراء العمل على هذا المنوال لغاية النهاية الأخرى للعتب يحصل على مقادير الشد ود والضغوط الواقعة على جميع القطع المائلة وعلى جميع فتحات الرأسين

وهذه الطريقة الرسمية كثيرة الاستعمال متى كان عدد الفتحات قليلا ويحصل بها بمقياس كبير على نتائج مضبوطة بسرعة ويمكن بواسطة النتائج المذكورة رسم منحنيات يرى مباشرة منها تغير الضغوط فى كل من رأسى العتب وفى كل من جملتى الشدادات المائلة

ولكن الاصوب على العموم الالتجاء الى الحساب واستعمال القوانين التى سنشرحها

ولذلك نعتبر رأسين متتابعين أيا كانا من فتحة نمرة ترتيبها م ونرمز بالرمز تم ، تَ لشدى الخطين ده ، ءَ هـ وبالرمز ضم ، ضَم لضغطى الخطين ءَ ءَ ، ءءَ وبالرمز حم ، حَم للحملين الكليين الواقعين فى الرأسين ء ، ءَ

ونفرض أن العتب مقطوع بمستوى رأسى مار بين ءَ ، هـ ونعتبر ان التوازن حاصل فى القطاع المتحصل وحينئذ فردود أفعال جزء العتب الموجود على اليمين تكون هى أولا الضغط ضم+١ وثانيا الشد تم وثالثا الشد تَ والتوازن يكون حاصلا بين ردود الأفعال المذكورة وبين جميع القوى الخارجة الواقعة على العتب فيما بين القطاع المذكور وبين النهاية ١ مع اعتبار رد الفعل ره لنقطة الارتكاز الذى يمكن تعيينه بسهولة بواسطة علم الاستاتيك ضمن هذه القوى

وحيث ان التوازن حاصل فيكون مجموع مساقط جميع القوى على محور ما معدوما وحينئذ باسقاط القوى على الرأسى س ص يكون

$$\text{ت}'_{\text{م}}\ \text{حاى} - \text{ن} + 2\text{ح}\left(\text{ق}'_{\text{م}} + \text{ق}''_{\text{م}}\right) = 0 \quad \ldots\ldots (1)$$

وبالأسقاط على محور افقى يكون

$$\text{ت}'_{\text{م}}\ \text{حاى} + \text{ت}_{\text{م}+1} - \text{ك}_{\text{م}+1} = 0 \quad \ldots\ldots (2)$$

ولنفرض الآن أن العتب ليس مقطوعا فيما بين ءَ ، هـ وانه مقطوع فيما بين ء اءَ فحينئذ ردود افعال الجزء المحذوف من جهة اليمين تتكون من الضغطين $\text{ك}_{\text{م}}$ ، $\text{ل}'_{\text{م}}$ المتجهين من اليمين الى اليسار ومن الشد $\text{ت}_{\text{م}+1}$ المتجه من اليسار الى اليمين والتوازن يوجد أيضا بين تلك القوى وبين جميع القوى الخارجة الواقعة على العتب بالابتداء من القطاع المعتبر لغاية النهاية ا وحينئذ بجعل مجموع مساقط جميع القوى المذكورة على كل من المحورين الرأسى والافقى معدوما يحدث

$$\text{ل}'_{\text{م}}\ \text{حاى} - \text{ن} + 2\text{ح}\left(\text{ق}'_{\text{م}} + \text{ق}''_{\text{م}-1}\right) = 0 \quad \ldots\ldots (3) \quad \text{و}$$

$$\text{ل}'_{\text{م}}\ \text{حاى} + \text{ك}_{\text{م}} - \text{ت}_{\text{م}+1} = 0 \quad \ldots\ldots (4)$$

فمن معادلتى (١) ، (٣) يستخرج مقدارا $\text{ت}'_{\text{م}}$ ، $\text{ل}'_{\text{م}}$ بدلالة رد فعل نقطة الارتكاز والأحمال الواقعة على العتب وهى كميات معلومة من منطوق المسألة

واذا اجمعنا معادلتى (٢) ، (٤) على بعضهما يحدث

$$\text{ك}_{\text{م}+1} - \text{ك}_{\text{م}} = \left(\text{ت}'_{\text{م}} + \text{ل}'_{\text{م}}\right)\ \text{حاى} \quad \ldots\ldots (5)$$

ومن هذه المعادلة يستخرج على التوالى المقادير المتتابعة للكميات ك بناء على كون المقدار الابتدائى ك مساويا الى $2\left(\text{ن} - \text{ق}'\right)\ \text{طاى}$

كما يعلم ذلك مباشرة من رسم متوازى اضلاع القوى من ا ، ا ، اَ

واذا عوضنا فى معادلة (٢) الرمز م بالرمز (م-١) فأن المعادلة المذكورة تكون صحيحة وتؤول الى

$$\text{ت}'_{\text{م}-1}\ \text{حاى} + \text{ت}_{\text{م}} - \text{ك}_{\text{م}} = 0 \quad \ldots\ldots (6)$$

وبجمع معادلتى (٦) ، (٤) على بعضهما يحدث

$$\text{ت}_{\text{م}+1} - \text{ت}_{\text{م}} = \left(\text{ت}'_{\text{م}-1} + \text{ل}'_{\text{م}}\right)\ \text{حاى} \quad \ldots\ldots (7)$$

ومن هذه المعادلة يستخرج على التوالى المقادير المتتابعة للكمية ت بناء على كون المقدار الابتدائى ت_1 مساويا الى ن طاى كما يرى من متوازى اضلاع القوى المرسوم من ا

ومن معادلتى (١) ، (٣) يستخرج مقدارا $\text{ت}'_{\text{م}}$ ، $\text{ل}'_{\text{م}}$ وحينئذ يكون

$$\text{ت}'_{\text{م}} = \frac{\text{ن} - 2\text{ح}\left(\text{ق}'_{\text{م}} + \text{ق}''_{\text{م}}\right)}{\text{حاى}} \quad \ldots\ldots (8) \ ،$$

$$\text{ل}'_{\text{م}} = \frac{\text{ن} - 2\text{ح}\left(\text{ق}'_{\text{م}} + \text{ق}''_{\text{م}-1}\right)}{\text{حاى}} \quad \ldots\ldots (9)$$

ومن معادلتى (٥) ، (٧) تستخرج المقادير المتتابعة للكميات ت ، ك والمسألة تكون حينئذ محلولة فى

جميع

جميع عمومياتها

ولكن فى الحمل تكون القوانين أبسط من ذلك حيث ان الأحمال تكون دائما موزعة بانتظام على احدى الرأسين كالرأس السفلى مثلا وحينئذ يقتضى جعل ق ثابتا ما ق معدوما مهما كان الرمز الموجود أسفل ومن جهة أخرى متى أريد البحث عن تأثير حمل وحيد فتحذف جميع مقادير ق ما ق ماعدا واحدمنها وسنختبر هاتين الحالتين مع الايجاز فنقول

القوانين فى الحالة التى يكون فيها الحمل وحيدا — لنفرض أن العتب مكون من فتحات عددها ع كل منها مثل ا ب وأن الحمل الوحيد ر ق واقع فى نهاية الفتحة التى ترتيبها س وحينئذ فى القوانين السابقة يكون مجموعا ق ما ق معدومين متى كان م أقل من س ومتى كان م أزيد من س فأن مجموع ق يبقى معدوما بخلاف مجموع ق فأن مقداره يكون ثابتا ومساويا للى ق وحينئذ فالثقل ر ق يوزع على نقطتى الارتكاز بنسبة عكسية لعدد الفتحات المحصورة بين الثقل المذكور وبين نقطتى الارتكاز ويحدث

$$ح = ر ق \times \frac{ع - س}{ع}$$

وبمراعاة هذه المعاليم فى قانونى (٨) ، (٩) يحدث

$$\frac{ط}{م} = \frac{ث}{م} = \frac{ح}{حا ى}$$

متى كانت م محصورة بين ١ ، (س - ١) ويكون

$$\frac{ط}{م} = \frac{ث}{م} = - \frac{ر ق س}{ع حا ى}$$

متى كانت م محصورة بين س ، ع

وحينئذ متى اخذت م فتجاوز س فأن اتجاها الشدود المنتقلة على القضبان المائلة يتغير فى الحال والقضبان التى تميل نحو اليسار تكون مضغوطة والتى تميل نحو اليمين تكون مشدودة ويحدث الحالة العكسية بدون أدنى انتقال بحيث ان القضبان الأولى تكون متأثرة بالشد والقضبان الثانية تكون متأثرة بالضغط وإذا اعتبر قضيب مثل ء حـ فكل ثقل موضوع فى الاتجاه الرأسى المار بأحدى الرؤوس الموجودة على الرأس السفلى على يسار نقطة ء يحدث للقضيب المذكور تأثير شد وكل ثقل موضوع فى ء أو على يمينها يحدث له تأثير ضغط

والتوفيق المنسوب للحمل العارضى الذى يحدث اعظم شد يحصل عندما تكون جميع الرؤوس الموجودة على يسار نقطة ء هى المحملة فقط والتوفيق الذى يحدث اعظم ضغط يحصل عندما تكون جميع الرؤوس الموجودة على يمين نقطة ء هى المحملة فقط

وأما بالنسبة لتوفيق حيثما اتفق للحمل العارضى فأن الحمل الواقع على القضيب ء حـ يصير بين النهايتين العظمتين للشد والضغط السابقتين وحينئذ يكون من المفيد بالنظر للاستدامة حساب هاتين النهايتين

ولنشتغل الآن بحساب المقادير المتنابعة للكميتين ت ، ك فنقول ان معادلة (٥) التى يستخرج منها مقدار ك يمكن وضعها بالصورة الآتية بملاحظة أن ث/م ، ط/م كميتان متساويتان على الدوام وان مقدارها المشترك ومزه ر

وهى $ك_{م+١} - ك_{م} = ٢ ر حاى$

وبأعطاء م المقادير ٠ و١ و٢ و٣ و٤ و..... على التوالى مع ملاحظة ان $ك_{٠} = ك$ ، $ك_{١} = ٢ ن طاى$ يحصل على مجموعة المعادلات الآتيــة

$ك_{٢} - ك_{١} = ٢ ر حاى$ ،

$ك_{٣} - ك_{٢} = ٢ ر حاى$ ،

.... ،

$ك_{م} - ك_{م-١} = ٢ ر حاى$

وبجمع هذه المعادلات الى بعضها طرفا بطرف يحدث

$ك_{م} = ٢ (م - ١) ر حاى + ٢ ن طاى$

ومتى تغيرت م من ١ الى س فأن ر تكون مساوية الى $\frac{ن}{حاى}$ ويكون

$ك_{م} = ٢ م ن طاى = ٤ م ق \times \frac{ﻫ - س}{ﻫ}$ طاى .... (٦)

ومتى تغيرت م من س الى ﻫ فانه يلزم ان يضاف الى مقدار $ك_{م}$ الناتج من معادلة (٦) الذى يجعل فيه م = س مقدار (م - س) مكررا للحاصل ٢ ر حاى مع جعل ر مساويا الى $- \frac{٢ ق س}{ﻫ حاى}$ وحينئذ فيكون

$ك_{م} = ٤ ق س \times \frac{ﻫ - م}{ﻫ}$ طاى

ويوجد بالمثل المقادير المتتابعة للكمية ت بواسطة معادلة (٧)

ويرى من القوانين ان ك ، ت يكونان موجبين دائما مهما كان وضع الحمل وأن أى حمل وحيد حيثما اتفق معلق فى الرأس السفلى للعتب يحدث ضغطا للرأس العليا وشدا للرأس السفلى وحيث ان تأثيرات القوى تجمع معا فيرى أن التأثير الاعظم يحصل على الرأسين متى كان العتب بتمامه محملا

القوانين فى الحالة التى يكون فيها الحمل موزعا بانتظام - فى هذه الحالة يكون كل من الفتحات التى عددها ﻫ العتب محمل بثقل قدره ٢ ق ويكون ثقل نصفى الفتحتين المتطرفتين منتقلا مباشرة على الحاملين ومعدوما بتأثير رد فعل مساوٍ له

وحينئذ رد الفعل ن لكل من الحاملين يكون مساويا الى ق (ﻫ - ١) ومن قانونى (٨) ، (٩) يحدث

$ت_{م} ، ل_{م} = \frac{ق (ﻫ - ١) - ٢ م ق}{حاى} = \frac{ق (ﻫ - ٢ م - ١)}{حاى}$ ..... (١٠)

ومن معادلة (٥) نحصل المقادير المتتابعة للكمية ك ويحدث

$ك_{م+١} - ك_{م} = (ت_{م} + ل_{م})$ حاى $= ٢ ق$ طاى $(ﻫ - ٢ م - ١)$

وبجعل م = ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ... على التوالى يحدث

$ك_{٢} - ك_{١} = ٢ ق (ﻫ - ٢ - ١)$ طاى ،

$ك_{٣} - ك_{٢} = ٢ ق (ﻫ - ٢ \times ٢ - ١)$ طاى ،

$ك_{٤} - ك_{٣} = ٢ ق (ﻫ - ٢ \times ٣ - ١)$ طاى ،

.... ،

م١

$$\text{ك}_{\text{م}} - \text{ك}_{\text{م}-١} = ٢\,\text{ق}\,[\text{ن} - ٢(\text{م} - ١) - ١]\ \text{طاى}$$

وبجمع هذه المعادلات الى بعضها طرفا بطرف يحدث

$$\text{ك}_{\text{م}} - \text{ك}_{١} = ٢\,\text{ق}\ \text{طاى}\left[(\text{م}-١)(\text{ن}-٢) - ٢[١+٢+٣+\ldots+(\text{م}-١)] - (\text{م}-١)\right]$$

وبملاحظة ان $\text{ك}_{١} = ٢\,\text{ق}\,(\text{ن}-١)\ \text{طاى}$ وأن مجموع الاعداد الأول الصحيحة التى عددها ن يساوى $\frac{\text{ن}(\text{ن}+١)}{٢}$ يكون

$$\text{ك}_{\text{م}} = ٢\,\text{ق}\ \text{طاى} \times \text{م}\,(\text{ن}-\text{م}) \quad \ldots\ldots \quad (١١)$$

ويبقى علينا حينئذ حساب المقادير المتتابعة للكمية ت وهذه المقادير تنتج من معادلة (٦) على التوالى وحينئذ يحدث

$$\text{ت}_{\text{م}+١} - \text{ت}_{\text{م}} = (\text{ك}_{\text{م}-١} + \text{ك}_{\text{م}})\ \text{حاى} \qquad \text{أو}$$

$$\text{ت}_{\text{م}+١} - \text{ت}_{\text{م}} = ٢\,\text{ق}\ \text{طاى}\,(\text{ن} - ٢\text{م})$$

واذا جعل فى هذه المعادلة م = ١ ، ٢ ، ٣ ، .... على التوالى يحدث

$$\text{ت}_{٢} - \text{ت}_{١} = ٢\,\text{ق}\ \text{طاى}\,(\text{ن} - ٢\times١) \text{ ،}$$

$$\text{ت}_{٣} - \text{ت}_{٢} = ٢\,\text{ق}\ \text{طاى}\,(\text{ن} - ٢\times٢) \text{ ،}$$

$$\text{ت}_{٤} - \text{ت}_{٣} = ٢\,\text{ق}\ \text{طاى}\,(\text{ن} - ٢\times٣) \text{ ،}$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ ،}$$

$$\text{ت}_{\text{م}} - \text{ت}_{\text{م}-١} = ٢\,\text{ق}\ \text{طاى}\,[\text{ن} - ٢(\text{م}-١)]$$

وبجمع هذه المعادلات الى بعضها طرفا بطرف وملاحظة أن

$$\text{ت}_{١} = \text{ن}\ \text{طاى} = ٢\,\text{ق}\,(\text{ن}-١)\ \text{طاى} \times \tfrac{١}{٢} \quad \text{يكون}$$

$$\text{ت}_{\text{م}} = ٢\,\text{ق}\ \text{طاى}\left[\text{م}\,(\text{ن} - \text{م} + ١) - \frac{\text{ن}+١}{٢}\right] \quad \ldots\ldots \quad (١٢)$$

وحينئذ فقوانين (١٠) ، (١١) ، (١٢) يستخرج منها مقادير الشدود والضغوط الناتجة من الحمل المنتظم على جميع القضبان المائلة وعلى جميع قطاعات رأسى العتب والمسألة المفروضة تكون حينئذ محلولة بالتمام وتغيرات الشدود والضغوط الحاصلة على القضبان المائلة تتعين من قانون (١٠) والنهاية العظمى للقوتين تَ ، ك تحصل عندما تكون م = ٠ ثم تأخذ فى التناقص الى ان يكون مقدار م مساويا الى $\frac{\text{ن}\times١}{٢}$ وحينئذ فتنعدمان ثم بعد ذلك تتغير اشارتها وتأخذان جميع المقادير المطلقة التى كانت لهما أولا فيما بين منتصف العتب والحامل الآخر فاذا كان ن زوجيا فلا يمكن ان يكون ٢م = ن×١ وحينئذ فمقدارا تَ ، ك لا ينعدمان وانما يقربان من الصفر بقدر ما يراد

واذا بحثنا بواسطة قانون (١١) عن النهاية العظمى للقوة $\text{ك}_{\text{م}}$ يرى انها تحصل عندما يكون $\text{م} = \frac{\text{ن}}{٢}$ واذا بحثنا عن النهاية العظمى للقوة $\text{ت}_{\text{م}}$ بقانون (١٢) يرى انها تحصل عندما يكون $\text{م} = \frac{\text{ن}+١}{٢}$

وهاتان النهايتان تحصلان حينئذ بالقرب من وسط العتب وأن ضغط الرأس العليا للعتب وشد الرأس السفلى له يأخذان فى التزايد بالابتداء من الحاملين الى وسط العتب

وحينئذ فالنهاية العظمى للقوة ك تكون مساوية الى $\frac{1}{2}$ ق ه طاى × نَ

والنهاية العظمى للقوة ت تكون مساوية الى $\frac{1}{2}$ ق ه طاى (نَ − ١)

وهاتان الكميتان تكونان متساويتين تقريبا متى كان عدد الفتحات كبيرا جدا

وكذا الشدود والضغوط فى رأسى العتب تتغير فى الجهة العكسية لشدود وضغوط القضبان المائلة فالأول يتزايد والآخر تتناقص بالابتداء من النهايتين الى وسط العتب

فى تشابه الاعتاب الشبكية الى الجمل المثلثية - تشابه الاعتاب الشبكية للجمل المثلثية التى حسبناها أمر دقيق نوعا ويظهر من بادئ الأمر انه ليس صحيحا بالضبط الا أنه مقبول ولا يؤدى الى نتائج رديئة فى العمل وحينئذ يمكن اعتبار التشابه المذكور محققا تحقيقا كافيا

ففى الجملة المثلثية الرأسان الافقيتان اب د ...... ا أَ بَ دَ .... مكونتان من قطع مفصلية فى كل من رؤوسها وأما فى الاعتاب الشبكية فان الرأسين مكونتان من الواح مستمرة من الصاج موضوعة افقيا وحيث ان طول الاعتاب المذكورة كبير جدا بالنسبة لباقى ابعادها فان انحناءها يكون كبيرا جدا ويمكن اعتبار انها تحتوى على مفصلة أو تعشيق فى نقطة حيثما اتفقت من طولها

وحينئذ اذا اعتبر قضيبين مائلين مثل ا أَ ا ب بَ فيصير تعويضهما بجملة من القضبان المتوازية الموزعة بين ا أَ ا ب بَ وبين ب بَ ا د دَ بحيث يكون مجموع القطاعات العرضية لتلك القضبان مساويا للقطاعين الناتجين من الحساب بالنسبة للقضيبين ا أَ ا ب بَ ويجرى مثل ذلك بالنسبة للقضبان أَ ب ...... المائلة فى الجهة المضادة

ويعتبر أيضا ان القوى تَ ا كَ السابق حسابها تتوزع فيما بين جميع القضبان المائلة التى تتقابل مع القاعدة ا ب التى اعتبرناها فتحة فى العتب ذى المثلثات ولا يستغرب من هذا الفرض اذا لوحظ أن ا ب يكون دائما كسرا صغيرا جدا من السعة الكلية للعتب وان تغير القوى المنتقلة على القطع المائلة يلزم أن يكون ظاهرا قليلا على الطول المذكور الصغير جدا

وحينئذ فحساب العتب الشبكى يكون سهلا بالنسبة لكل نقطة من الرأسين ويتحصل على الشد أو الضغط الذى يتوصل به الى حساب القطاع بناء على المقدار اللازم لتشغيل المادة بحسبه بالنسبة للوحدة السطحية وبالمثل بالنسبة لكل حزمة من القضبان المائلة المقابلة للقاعدة ا ب لمثلثات الجملة المتولد عنها الحزم المذكورة يقسم التأثير الكلى على عدد قضبان الحزمة فيتحصل على التأثير بالنسبة لكل قضيب من القضبان المذكورة وعليه فيحسب قطاعه

وقد يرى ان قطاع كل من الرأسين يأخذ فى التزايد من طرفى العتب الى وسطه بخلاف قطاع حزم القضبان المائلة فانه يأخذ فى التناقص

ومن المعلوم ان خوص الشبكة تكون مبرشمة من اعلى ومن اسفل فى زاويتين مبرشمتين فى رأسى العتب وان البرشمة تضع على الحامى وتشتمل على جملة مسامير برشام وحينئذ فلا يوجد حقيقة مركز تعشيق فى اطراف

القضبان

القضبان المائلة وانما من المحتمل أنه مع الزمن تنعم البرشمة وينشأ عنها بعض حركات ولكن فى الواقع ونفس الأمر يكون التعشيق معدوما وجارمنعه بالكلية

وزيادة على ذلك فالقضبان المائلة فى الجهة المضادة عند تقابلها مع القضبان الاولى جارى جمعها معها بواسطة مسامير برشام وتكون حينئذ مع القضبان الأولى المذكورة جسما واحدا مع كون هذا الأمر مخالفا بالكلية النظرية التى نحن بصددها وكذا يسلم بالأمر غير المبرهن عليه بالكلية وهو أن هذه التغيرات ليس القصد منها الا التقوية الجملة وانما القصد الوحيد من النظرية التى ذكرناها هو عدم التوصل فى العمل الى نتائج وخيمه ملحوظات على الشبكات ـ وباعتبار الاعتاب الشبكية سطحيا يرى أن جملة مثل هذه يلزم ان توصل الى تقليل ثقل العتب وبناء على أنه يحصل فائدة من ابعاد الخيوط المقاومة المكونة للعتب عن محور الحمول وحصرها فى شريطين متباعدين عن بعضها بمسافة اعظم ما يمكن قد صار حذف الجزء الوسطى القريب من محور الحمول وتحويل الجزء المصمت من العتب الى شبكة ولكن هذا الأمر تحقق عدم صحته بالتجربة وبالعلم النظرى

فقد ظهر من التجربة أنه اذا تجاوز وفر المعدن الداخل فى تركيب قنطرة شبكية حدا معينا فأنه يكون دائما مضرا بمكث القنطرة المذكورة

وقد أظهر العلم النظرى الفائدة التى تعود فى مقاومة العتب من الروح التى تربط رأسيه ببعضها سواء كانت تلك الروح مصمتة أو مفرغة ولبيان ذلك نقول

حيث ان الروح هى العضو الذى به تنتقل قوى الشد والضغط من رأس الى أخرى فى العتب الواحد فنحتاج حينئذ لمادة بالنظر لهذا الشغل الضرورى للتوازن العنصرى للانشاء

وبملاحظة ان الحمل القاطع ح يكون تقريبا واحدا فى العتب الشبكى و فى العتب ذى الروح المصمتة متى كان طولهما واحدا وكان كل من الحمل الثابت و العارضى فى كلاهما واحدا

وأن الحمل القاطع فى العتب الشبكى يؤثر بالميل على قضبان عددها ٢ن التى يمكن تشغيلها بحمل أعظم قدره م بالنسبة للمليمتر المربع من القطاع فيكون المقدار الأصغر للقطاع العمودى لقضيب مبينا بالكسر الآتى وهو

$$\frac{ح}{٢ن\,جاى \times م}$$

وحينئذ فحجم الشبكة بالنسبة لطول صغير جدا قدره لَ من العتب يكون مساويا الى

$$\frac{ح}{٢ن\,جاى \times م} \times \frac{لَ}{جاى} \times ٢ن \quad \text{أو الى} \quad \frac{٢\,ح\,لَ}{م\,جا٢ى}$$

وهذا المقدار يؤول فى حالة ما تكون ى = ٤٥° وهى الحالة الأعظم موافقة الى

$$\frac{٢ح \times لَ}{م}$$

ففى العتب ذى الروح المصمتة الموضوع بالشروط السابقة قطاع الروح ينتج من معادلة $\frac{ح}{م}$ وأما الحجم الجزئى للروح المذكورة يكون هو $\frac{ح\,لَ}{م}$ اعنى نصف المقدار السابق

وحينئذ فالروح المفرغة الشبكية تتكون من معدن ضعف المعدن اللازم لروح مصمتة

وقد قال المهندس كوليينيون أيضا أنه رغما عن قلة الوفر فى الاعتاب الشبكية فأنه غير جار تركها واستعمال الاعتاب ذات الروح المصمتة خاصة بل أن خفة الشبكة المرسومة جيدا والمنظر المنفر للروح المصمتة هما اللذان أوجبا دائما كثيرا من المنشئين تفضيل الجملة التى يرتاح اليها النظر عن الجملة التى ليس لها فضل سوى الرخص اى قلة المصرف

وبالجملة فأن الأرواح الشبكية انقل من الارواح المصمتة وأنه من ضمن الميول المختلفة للشبكة ميل ٤٥° هو الاكثر فائدة عن غيره

الاعتاب التى على طريقة هوف أوجون - يعرف فى أوروبا بأن عتب هوف هو الذى يصنع من الخشب والحديد معا ويستعمل على العموم فى القناطر الوقتية وأما تكوين العتب المذكور بتمامه من المعدن يعرف فى أمريكا باسم عتب جون

فالشكل العمومى لعتب هوف يتركب كما فى شكل ... من رأسين افقيتين ا ا ا ... ، ب ب ... مجتمعتين مع بعضها بجملة قضبان بعضها رأسية وبعضها مائلة وصانعة مع الرأسى زاوية ى فالقضبان الرأسية لا تشتغل الا بالشد وهى من الحديد وأما القضبان المائلة فلا تشتغل الا بالضغط وهى من الخشب أو الحديد الزهر وبواسطة قلوزة موجودة فى القضبان الرأسية يمكن تثبيتها بحيث تشتغل بالشغل المفروض لها وأما القضبان المائلة فهى مبيتة جدا بحيث تشتغل فقط بالضغط

ومن البديهى ان هذا الشكل يحتاج الى دقة عظيمة اثناء التركيب حتى لا يحصل فصل الحامات من بعضها مع الزمن بتأثير الارتجاجات والاهتزازات

وحينئذ يلزم من وقت الى آخر التحقق من جودة ارتباط القطع ببعضها حتى تكون دائما مقاومة للاحمال الحاملة لها والطريقة البسيطة التى استعملت لحساب الضغوط أو الشدود الواقعة على القطع المختلفة للشكل المثلثية يمكن تطبيقها بالضبط فى هذه الحالة

فنرمز بالرمز ت لشد الجزء م ا ، ا م من الرأس السفلى للعتب وبالرمز ك لضغط الجزء م ب ب من الرأس العليا للعتب وبالرمز تَ لشد الساق الرأسى ب م ا ، وبالرمز ك لضغط الساق المائل ب م ا
ولنفرض أنه يوجد رؤس مثل ا عددها ء بين طرفى العتب وأنه معلق فى كل منها ثقل قدره ء ق
وحينئذ يكون رد الفعل ر للحامل مساويا ء ق

ثم نقطع العتب بمستو رأسى س س مار بالرأسى ب ونعتبر ان التوازن حاصل فى هذا القطاع بفرض حذف الجزء الأيمن وحينئذ يقتضى ان يضاف الى القوى الخارجة الضغط م ك والشد م ت ثم الشد تَ وحيث ان جميع القوى المذكورة متزنة فيكون مجموع مساقطها على محورما معدوما وحينئذ باسقاط القوى المذكورة على الرأسى ثم على الافقى يحدث

$\text{ت}_{م} - \text{ه} + ٢\,\text{م ق} = ٠$ أو $\text{ت}_{م} = \text{ه} - ٢\,\text{م ق} = \text{ق}\,(\text{ن} - ٢\,\text{م})$ ،

$\text{ك}_{م+١} - \text{م ت}_{م+١} = ٠$ أو $\frac{\text{ك}_{م}}{\text{م}} = \text{ت}_{م}$

وبقطع العتب بمستو رأسي متوسط س َص َ واعتبار حصول التوازن بين جميع القوى الخارجة وردود الافعال الناتجة من جزء العتب الموجود على يمين القطاع المذكور ومراعاة نظرية اسقاط القوى المذكورة على محورين أحدهما رأسي والآخر افقي يحدث

$$\text{جاى} \times \text{ى}_{م} = \text{ه} - ٢\,\text{م ق} \quad \text{أو} \quad \text{ى}_{م} = \frac{\text{ق}\,(\text{ن} - ٢\,\text{م})}{\text{جاى}} = \frac{\text{ت}_{م}}{\text{جاى}} \quad \ldots\ldots\ (١)$$

$$\text{ك}_{م} = \text{م ت}_{م+١} - \text{ه طاى} + ٢\,\text{م ق طاى} \quad \text{أو} \quad \frac{\text{ك}_{م}}{\text{م}} = \text{ت}_{م+١} + \text{ق طاى}\,(٢\text{م} - \text{ن}) = \text{ت}_{م} \ldots (٢)$$

فمعادلتا (١) ، (٢) تشتملان على الحل التام للمسألة وتسمحان بحساب القوى الواقعة على جميع القطع على التتابع ومع ذلك فقانون (٢) يمكن وضعه بالصورة الآتية وهي

$$\text{ت}_{م+١} = \text{ت}_{م} + \text{ق طاى}\,(\text{ن} - ٢\,\text{م})$$

وحينئذ بجعل م = ١ ، ٢ ، ٣ ، .... على التوالي وملاحظة أن $\text{ت} = \text{ه طاى} = \text{ن ق طاى}$ يحدث

$$\text{ت}_{١} = \text{ن ق طاى} \text{ ،}$$
$$\text{ت}_{٢} = \text{ت}_{١} + \text{ق طاى}\,(\text{ن} - ٢ \times ١) \text{ ،}$$
$$\text{ت}_{٣} = \text{ت}_{٢} + \text{ق طاى}\,(\text{ن} - ٢ \times ٢) \text{ ،}$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ ،}$$
$$\text{ت}_{م} = \text{ت}_{م-١} + \text{ق طاى}\,(\text{ن} - ٢\,(\text{م} - ١))$$

وبجمع هذه المعادلات المربعة طرفا بطرف وملاحظة أن مجموع الأعداد الصحيحة الأول التي عددها ن يساوي $\frac{\text{ن}\,(\text{ن}+١)}{٢}$ يحدث

$$\text{ت}_{م} = \text{ق م}\,(\text{ن} - \text{م} + ١)\,\text{طاى} = \frac{\text{ك}_{م}}{\text{م}} \quad \ldots\ldots\ (٣)$$

وباعتبار هذه المعادلة مع معادلتي

$$\text{ت}_{م} = (\text{ن} - ٢\,\text{م})\,\text{ق} \text{ ،} \quad \text{ى}_{م} = \frac{(\text{ن} - ٢\,\text{م})\,\text{ق}}{\text{جاى}}$$

يمكن حساب جميع اجزاء المسألة

ويرى من ذلك أن النهاية العظمى للكميتين تَ ، ى تحصل في القضيب الأقرب للحاملين وتأخذ تلك النهاية في النقص إلى أن تنعدم في وسط العتب بخلاف الكميتين ت ، ك فأن نهايتيهما العظمى تكون في وسط العتب وتأخذان في النقص بمجرد قربهما للحاملين وزيادة على ذلك فأن هاتين الكميتين موجبتان دائما بخلاف الكميتين تَ ، ى فأن اشارتهما تتغير في وسط العتب واذا أريد تشغيل القطع بالكيفية المذكورة يلزم تكوين النصف الأيمن للعتب بالتماثل للنصف الأيسر منه

وعلى هذا فالنهاية العظمى لكل من الكميتين ت ، ك التي هي

$$\text{ق طاى}\left(\frac{\text{ن}+١}{٢}\right)^{٢}$$

تستعمل لتعيين القطاع الأعظم لكل من رأسي العتب

وللانتقال من الجملة النظرية التي هي أساس للحسابات التي اجريناها الى الجمل المختلفة لطريقة (هوف) يستعاض كل من القضبان الرأسية أو المائلة بجملة قضبان أخرى بحيث يحصل على حزم كل منها مركب من قضبان عددها ﻫ قطاع كل منها جزء نوني من قطاع التضبيب الواحد المعد لمقاومة الأحمال تَ أو ك

ويضاف أيضا كما هي العادة وتر ثان ا ب للمربعات التي مثل ا ا ب ب ويستعاض الوتر المذكور بحزمة من القطع المائلة قطاعها مساو لقطاعه لكن عدد القطع المذكورة يكون نصف عدد القطع المعوضة للوتر ا ب وهذه الأوتار الأضافية ترتكز فقط على رأس العتب بدون أن تضغطها ولا يجب ان تشتغل تحت تأثير الحمل المنتظم التام ولا يمكن ان تشتغل الا عارضيا بتأثير حمل وحيد والغرض منها هو زيادة الصلابة فقط ولا يخفى ان هذا التركيب يحتاج مباشرة كثيرة ودقيقة

وهذه الأعتاب الامريكانية تحتاج كما قال المهندس كولينيون الى توضيب كثير التجديد ودقيق العمل وحيث أن الضغوط تتغير بحسب وضع الأحمال العارضية ويمكن انعكاسها فيعلم من ذلك ان القطع تكون متأثرة بارتجاجات وانصدامات مستمرة مضرة بصلابتها

وعلى هذا فعتب هوف ليس مستعملا في أوروبا الا بصفة تشغيل صناعي وقتي

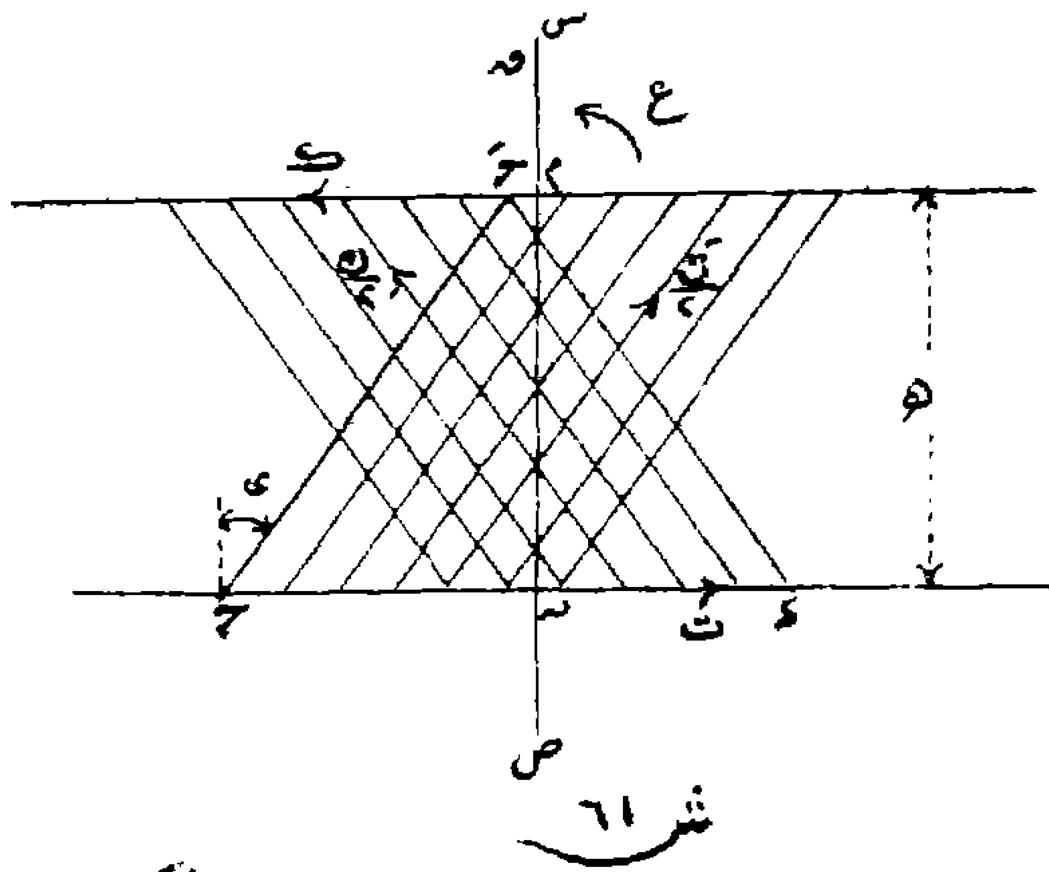
وقد استعمل الامريكانيون بكثرة الجمل التي شرحناها والجمل المشتقة منها أو المشابهة لها

في الاعتاب الامريكانية ذات الفتحات الكثيرة — الامريكانيون لا يستعملون الاعتاب ذات الفتحات الكثيرة الا قليلا ولهم الحق في استعمال اشكال اعتابهم الكثيرة التركيب حيث أنه من الصعب معرفة التأثير الواقع من حمل احدى الفتحات على الفتحات المجاورة لها بالضبط

أما في أوروبا فقد التجئوا غالبا الى الأعتاب الشبكية ذات الفتحات الكثيرة المكونة عتبا واحدا وحينئذ بناء على النظرية يمكن أن يحسب الحمل القاطع في كل نقطة وعزم الانثناء كذلك ثم يعين على الخصوص ردود أفعال نقط الارتكاز بالسهولة وردود الافعال المذكورة هي الكميات الوحيدة المقتضى معرفتها لاجراء الحساب الذي شرحناه سابقا

وفي هذه الحالة يمكن الالتجاء الى طريقة الحساب الآتية التي شرحها المعلم بريس وتؤدي الى نتائج لا تفترق عن التي وجدناها الا قليلا فنقول

في حساب الاعتاب الشبكية — ليكن عتب شبكي كما في شكل ٦١ فيه كل من القضبان المائلة حـ حَ ا ءَ يمثل الحزمة من القضبان المتوازية التي عددها ﻫ ثم نقطع العتب المذكور بمستو رأسي س ص فهذا المستوى لا يقابل بداهة الا نصف ﻫ من القضبان المائلة من كل حزمة وحينئذ تكون الاحمال الواقعة على ﻫ/٢ من القضبان المائلة نصف



الكميتين

الكميتين تَ ، ك السابقتين

ثم بعد معلومية الحمل الثابت والحمل العارضي وعدد وأبعاد الفتحات يعلم بالنسبة لكل قطاع العزم ع والحمل القاطع د المنسوبين للقوى الخارجية

ولكن يقتضى أن يكون التوازن حاصلا فى قطاع س ص بين القوى الخارجة وبين ردود الافعال العنصرية الناتجة من الجزء الأيسر على الجزء الأيمن المفروض حذفه وردود الأفعال العنصرية المذكورة هى الشدان ت ، تَ والضغطان ك ، ك والقوى الخارجة هى الحمل القاطع د والى الازدواج ع اى القوى الناشئ عنها العزم ع

وباعتبار حصول التوازن يكون اولا مجموع ساقط جميع القوى الخارجة على محورين أحدهما أفقى والآخر رأسى معدوما وثانيا يكون العزم الناتج من جميع القوى بالنسبة لنقطة مثل م معدوما أيضا وحينئذ تحدث الثلاث معادلات الآتية وهى

ك - ت + $\frac{1}{2}$ (ك - تَ) حاى = ٠ ،

$\frac{1}{2}$ (ك + تَ) حاى + د = ٠ ،

ت هـ + $\frac{1}{2}$ (تَ - ك) هـ حاى + ع = ٠

وهذه الثلاث معادلات تحتوى على أربعة مجاهيل ولكن بناء على الطريقة التى بها صار حساب الأعتاب المثلثية البسيطة التى اشتقت منها الشبكة قد علم أن الكميتين تَ ، ك المحدثتين المرة لا تفترقان عن بعضهما الا بمقدار قليل جدا وحينئذ يمكن أن يجعل

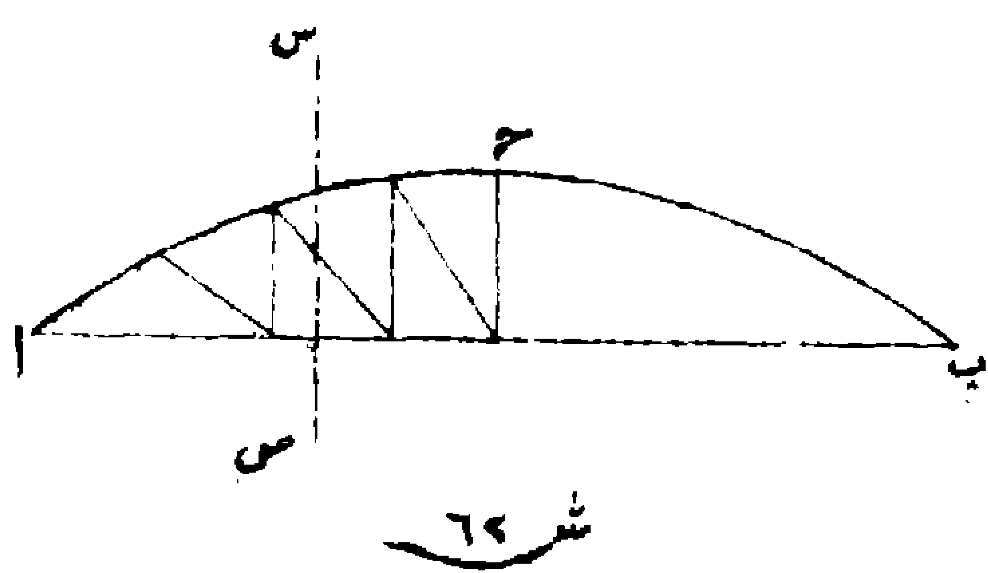
تَ = ك وعليه يكون ك = ت ،

تَ حاى + د = ٠ ، ت هـ + ع = ٠

وحينئذ فحدث أربع معادلات لتعيين اربعة مجاهيل

فى الأعتاب التى رأسها على شكل قطع مكافئ المسماة بوف استرنج - قد توجد أحيانا أعتاب مشابهة للجسم المتساوى المقاومة التى عوضا عن أن تكون محدودة برأسين افقيين تكون محدودة اما بقطعين مكافئين محورهما رأسى واما بقطع مكافئ ومستقيم افقى

فمتى كانت الرأس العليا قوسا من قطع مكافئ ا ب ح والرأس السفلى الافقى ا ب كما فى شكل ٦٢ يحدث ما يسمى بوف استرنج أو المتقوس مع وتره



شكل ٦٢

ففى هذه الحالة اما أن تكون الروح مصمتة أو مفرغة فمتى كانت مفرغة يمكن عملها اما شبكية واما على طريقة هوف وفى كلا الحالتين تعين الجهة التى يجرى تشغيل القطع بحسبها وذلك بواسطة الترصيب الذى يصير اجراؤه فى العمل

ومهما كانت الحالة فهناك طريقة تعيين أبعاد العتب المذكور وهى أن تؤخذ على مسافات كافية قطاعات بمستويات رأسية س ص ويحسب فى كل منها عزم الانثناء ع والحمل القاطع ده المنسوبان للقوى الخارجة وها تان الكميتان غير متعلقتين بشكل العتب الذى يكون ثقله معلوما بالتقريب

ثم يجرى العمل كما أجريناه سابقا بالنسبة لكل قطاع بأن يعتبر فيه حصول التوازن بين القوى الخارجة الناتج عنها العزم ع والقوة ده وبين ردود الافعال العنصرية المبينة لشدود وضغوط القطع التى تقطع المستوى س ص

وحينئذ بناء على شروط التوازن تحدث ثلاث معادلات وتتعين جميع ردود الافعال المجهولة بشرط أن المستوى س ص لا يقابل خلاف الرأسين سوى قضيب مائل واحد فاذا قابل المستوى المذكور قضيبين مائلين يلزم ادخال فرض على الارتباط الواقع بين الأحمال الواقعة عليهما

ويجب أن يلاحظ أنه ليس ممكنا دائما بأن التأثيرات تكون مؤثرة فى الجهة التى تعين فيها فى مبدا الأمر بل ان الأشارة التى تحصل للمجهول تظهر دائما ان كان هناك خطأ أم لا وفى حال وجود الخطأ يتوصل لكميات سالبة ويقتضى حينئذ تغيير شد بضغط وبالعكس

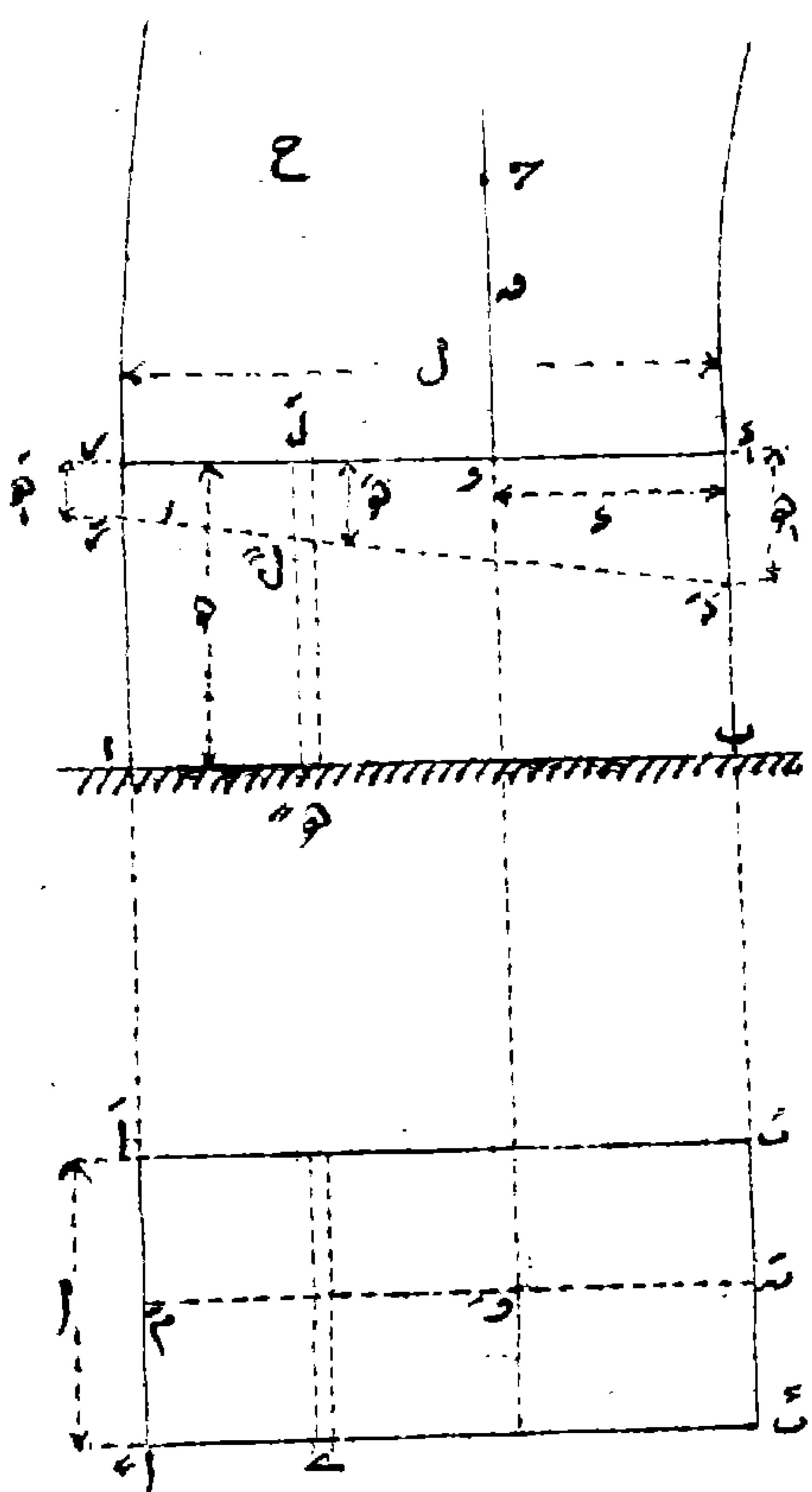
وهذه الاشكال المتشعبة التركيب لا تؤدى الا الى وفر قليل من المادة وتزيد صعوبات العمل وحينئذ فلا يكون لاستعمالها مزية عظيمة

فى توازن جسم ثقيل موضوع على مستوى أفقى

اذا فرض جسم ثقيل موضوع على مستوى افقى بوجه مستو مستطيلى اب شكل ٦٢ المبين بالمقدار الحقيقى بالشكل آ ب ب ا وفرض ان الوجه الجانبى للجسم ح بجوار وجه الارتكاز اب مكون من مستويات عمودية على الوجه المذكور وممتدة من أضلاعه الاربعة وأن مركز الثقل حـ للجسم المفروض يوجد فى المستوى الرأسى المار بالمتصفين م ، م للضلعين ا ا ، ب ب لوجه الارتكاز السابق ذكره

وفرض أيضا أن السطح المستوى الموضوع عليه الجسم المفروض متين جدا بحيث يبقى مستويا رغما عن الانخفاض (اى الغرز) الخفيف الذى يحدثه له ثقل الجسم المذكور

وفرض كذلك أن الجسم ح قابل للانضغاط فى جميع اجزائه على التساوى بتأثير القوى الممكن وقوعها عليه على الأقل فى الجزء المجاور لوجه الارتكاز فحينئذ بناء على قابلية الانضغاط هذه الحاصلة بالتساوى فأن العناصر التى كانت فى الأصل



شكل ٦٢

ف

في مستوى ر ء الموازى للوجه اب والقريب جدا منه قبل تأثر الجسم المذكور بالضغوط الواقعة عليه من أسفل الى أعلا على وجه الارتكاز فأنها توجد أيضا في مستوى رَ ءَ بعد التغير الحاصل له بتأثير الضغوط المذكورة

وحيث أن الجسم ح لا يمكن ان يحدث على نفسه أقل تأثير فتأثيرات الانضغاطات المشاهدة في الأجزاء المجاورة للارتكاز تكون منسوبة حينئذ لردود أفعال الارتكاز التي محصلتها تكون مساوية ومضادة مباشرة للثقل ث للجسم المفروض

وحينئذ اذا فرضنا منشورا جزئيا قطاعه ءَ ءَ × ح ء (ح ء كمية صغيرة جدا) وارتفاعه لَ هـَ = هـ فأنه بتأثير رد فعل الارتكاز يشغل المستوى ر ء الوضع رَ ءَ والارتفاع لَ هـَ = هـ يصير لَ هـَ والانكماش النسبي يصير $\frac{لَ لَ}{هـ} = \frac{هـَ}{هـ}$ وحينئذ اذا رمزنا للقوة التي احدثت هذا الانكماش بالرمز قَ وفرضنا أن ءَ ءَ = ١ يكون

$$قَ = و × ح ١ × \frac{هـَ}{هـ}$$

الذى فيه و رمز لعامل المرونة وحيث ان كلا من الكميات و ، ١ ، هـ ثابت فتكون محصلة ردود الافعال قَ هي

$$مج\ قَ = \frac{و}{هـ} × ١ × مج\ ح\ هـَ$$

ولكن حيث ان (مج ح هـَ) عبارة عن مساحة شبه المنحرف ر ء ءَ رَ فاذا جعلنا ر ء = ل ، ء ءَ = هـ١ ، ر رَ = هـ٢ يكون

$$مج\ قَ = \frac{و}{هـ} × ١ × \frac{ل(هـ١ + هـ٢)}{٢}$$

وحيث ان القوى الجزئية قَ تناسب بداهة لسطوح الجزئية ح هـَ فحينئذ محصلة ردود الافعال المذكورة تمر بمركز ثقل شبه المنحرف ر ء ءَ رَ وحيث أن ث مساوية ومضادة مباشرة لهذه المحصلة فتمر بمركز الثقل المذكور ويكون

$$ث = \frac{و}{هـ} × ١ × \frac{ل(هـ١ + هـ٢)}{٢}$$

فاذا جعلنا ١ = ١ أعني أن ث هو ثقل المتر الطولي ورمزنا للبعد و ء بالرمز ء أعني يكون و ء = ء فبناء على وضع مركز ثقل شبه المنحرف يكون

$$هـ١ = هـ٢ × \frac{٣ء - ل}{٢ل - ٣ء}$$ وحينئذ يكون

$$ث = \frac{و}{هـ} × ل × ل × \frac{هـ٢}{٢(٢ل - ٣ء)}$$

وحيث أن الضغط الجزئي الواقع في أى نقطة مثل لَ على سطح جزئي ح ١ هو $قَ = \frac{و}{هـ} × ح ١ × هـَ$ فالضغط في نقطة ء بالنسبة للوحدة السطحية يكون

$$قَ = \frac{و}{هـ} × هـ٢$$ وعليه يكون

$$قَ = ٢ث × \frac{٢ل - ٣ء}{ل^{٢}} \quad .... (١)$$

فاذا كانت م هي نهاية الأحمال المستديمة للمواد المستعملة فيلزم لحصول الأمن أن يكون

$$م \leqq ٢ث × \frac{٢ل - ٣ء}{ل^{٢}} = \frac{٢ث}{ل}\left(٢ - \frac{٣ء}{ل}\right)$$

فاذا كانت نقطة التأثير و للثقل ه تنتقل وتقرب من نقطة ء بناء على تغيير شكل الجسم فمركز ثقل الشكل ر ء ءَ رَ يتبع نفس الحركة مع بقاء السطح ثابتا وحينئذ فالضلع ء ءَ يأخذ فى الأزدياد والضلع ر رَ يأخذ فى النقص والضغط بالنسبة للوحدة السطحية فى نقطة ء يزداد بالنسبة الى ء ءَ وعلى هذا فاذا كان ء = $\frac{1}{3}$ ر ء = $\frac{1}{3}$ ل فشكل ر ء ءَ رَ يصير مثلثا ا ر رَ ينعدم ويكون الضغط حينئذ فى نقطة ر معدوما وفى نقطة ء هو

$$ضَ = \frac{٢ ه}{ل} \quad .... (٢)$$

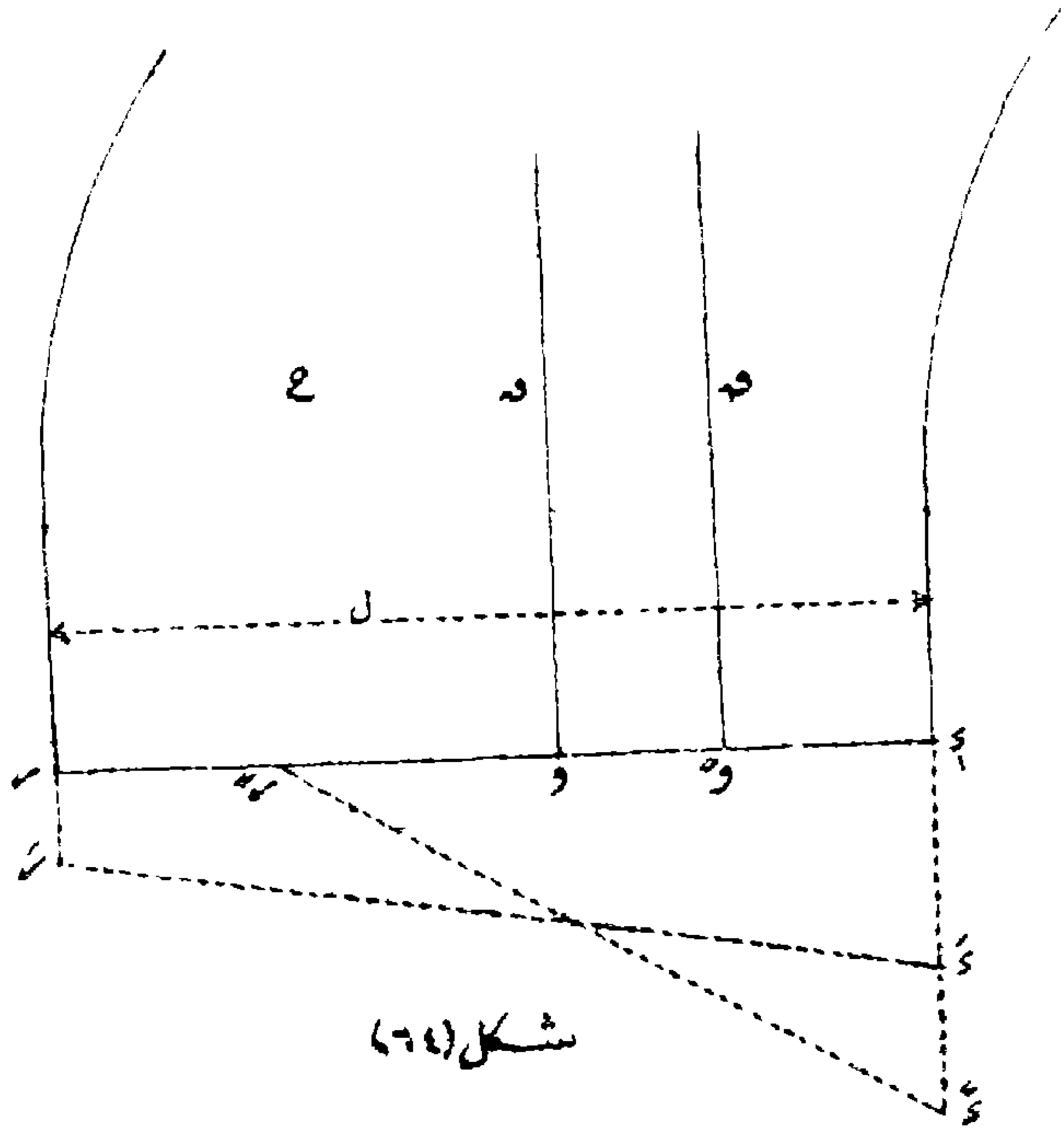
أعنى أنه ضعف الضغط المتوسط $\frac{ه}{ل}$

فاذا قربت نقطة التأثير و ايضا من نقطة ء فأن و ء يصير أصغر من ثلث ر ء والشكل يصير رَ ء ءَ كما فى شكل ٦٤ بحيث يكون

$$ء = وَ ء = \frac{1}{3} رَ ء$$

والضغط فى نقطة ء يؤول حينئذ الى

$$ضَ = ٢ \times \frac{ه}{٣ ء} \quad ..... (٣)$$



شكل (٦٤)

وأما فى نقطة رَ فيكون معدوما

لكن ولو أن الضغط بالنسبة للطول ر رَ يكون معدوما الا أنه يوجد فيه شد يميل لانفصال الجسم ح فى هذا الجزء من الارتكاز ويظهر تأثير هذا الشد متى كانت مقاومة المواد غير كافية لمقاومة الضغط وأما الجزء رَ ء فيكون قابلا للتفتت بالنسبة للضغوط الجزئية الواقعة عليه

فاذا صار البعد ء صغيراً بقدر ما يراد فأن الضغط

$$ضَ = ٢ \times \frac{ه}{٣ ء}$$

يصير كبيرا بقدر ما يراد بالنسبة لمقاومة المواد والحرف ء يتفتت

ملحوظه — حيث أنه لحصول الاستدامة يلزم أن لا يتجاوز مقدار الضغط على الوحدة السطحية فى نقطة ء معامل المقاومة م للمواد فيكون

ضَ ≦ م وعليه يكون

$$م \leqq \frac{٢ ه}{٣ ء}$$

وبالاختصار فأنه بعد تعويض ضَ بمعامل المقاومة م فى قوانين (١) (٢) (٣) السابقة تؤول تلك القوانين الى

$$م = \frac{٢ ه}{ل} \left(٢ - \frac{٣ ء}{ل} \right) \quad (١$$

م =

$$م = \frac{٢ق}{ل} ،$$

$$م = \frac{٢ق}{٣ء}$$

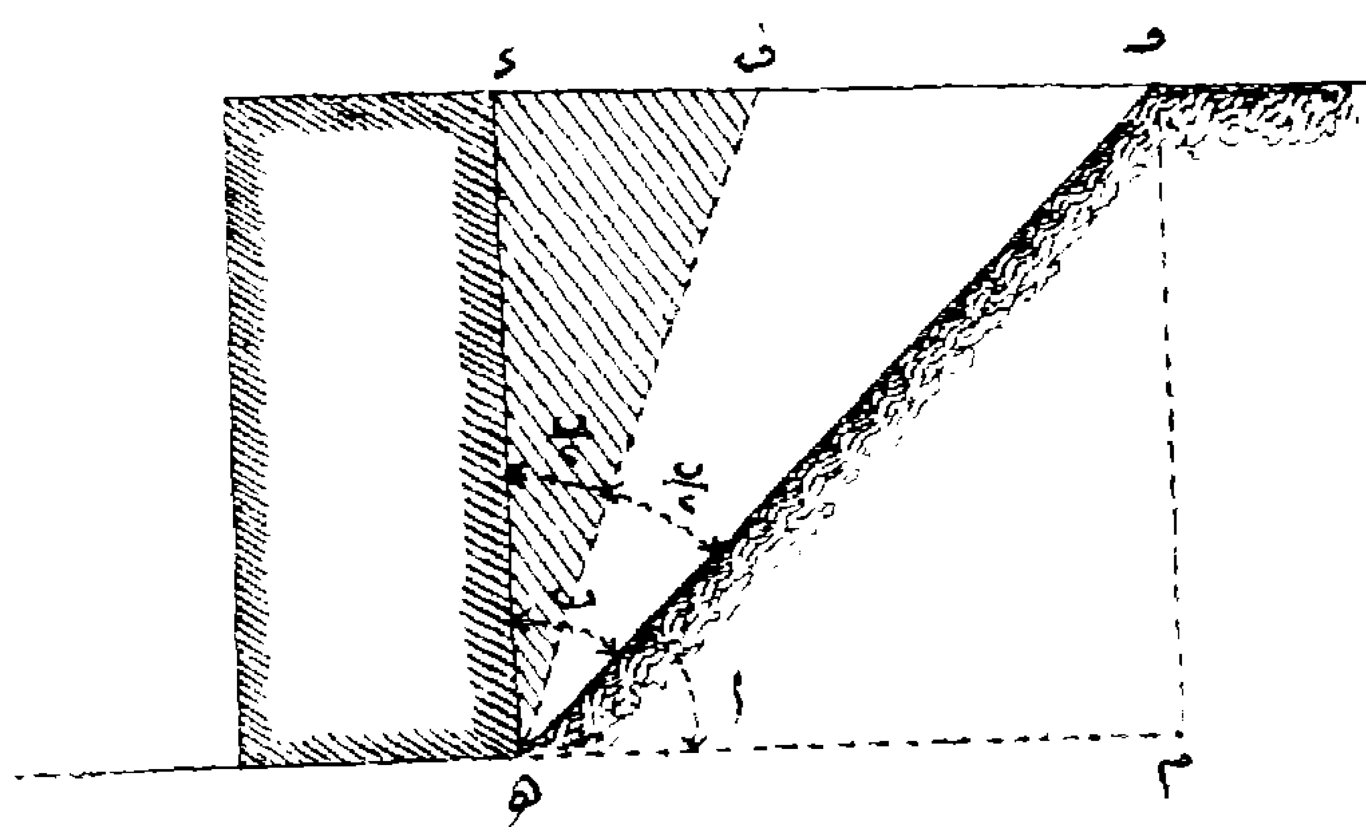
فالقانون الأول من هذه القوانين الثلاثة يكون هو المستعمل دون غيره متى كان البعد ء لنقطة تأثير محصلة الضغوط عن الحرف ء أكبر من ثلث ل وأما اذا كان ء مساويا لثلث ل فيستعمل القانون الثانى ويستعمل القانون الثالث متى كان ء أصغر من ثلث ل

الحيطان الساندة للأتربة

الحيطان الساندة للاتربة شكلها يتغير بحسب الحالة فأما أن تتكون من وجهين رأسيين وأما من وجه رأسى جهة الاتربة ووجه مائل من الجهة الاخرى أو بالعكس واما من وجهين مائلين وقد تصنع غالبا بالوجه الداخل قصص وأحيانا تصنع أكتاف للتقوية متباعدة عن بعضها بأبعاد متساوية وتلك الأبعاد تختلف بحسب الحالة المستعملة فيها الحائط الساندة سواء كانت تلك الأكتاف من جهة الوجه الداخل أو الخارج

والميول التى تعطى عادة للوجه المائل هى $\frac{١}{٦}$ ، $\frac{١}{٥}$ ، $\frac{١}{٤}$ والميل الأخير هو المستعمل بكثرة

حساب دفع الاتربة ـ اذا فرض ان ءه هو الوجه الداخل لحائط الساندة للاتربة كما فى شكل ٦٥ وهو رأسى وأن وء هو السطح العلوى للأتربة وهو افقى وفى استواء قمة الحائط وكانت زاوية الميل الطبيعى للأتربة على الافق هى زاوية وهم = ١ فبناء على ما ظهر من البراهين الرياضية من أن جزء الأتربة الذى يحدث تأثيرا أعظم ما يمكن على الحائط الساندة من الجزء ءهو للأتربة الذى زاوية ميله على الرأسى ءه هى ءهو = ب = (٩٠° - ١) هو الجزء



شكل ٦٥

ءهف الذى زاوية ميله على الرأسى هى ءهف = $\frac{ب}{٢}$ المحصور بين الخط المحدد للوجه الرأسى الداخل للحائط الساندة وبين الخط المنصف للزاوية المتممة لزاوية ميل الأتربة ١ على الافق وبين الخط المحدد للسطح العلوى للاتربة الذى يكون افقيا ومارا بقمة الحائط وهذا الجزء من الأتربة يسمى بالمنشور ذى الدفع الأعظم وعلى حسب هذا المنشور يحسب الدفع الواقع من الاتربة على الحائط الساندة وأن الوجه هف للمنشور المذكور يسمى بمستوى الانزلاق

إذا تقرر هذا واعتبرنا طول متر واحد من الحائط ورمزنا لارتفاع الحائط المذكور بالرمز ه كما فى شكل ٦٦ وفرضنا أن الزاوية المتممة لزاوية ميل الأتربة ١ هى زاوية ب فيكون المنشور ذو الدفع الأعظم هو بعف وتكون مساحة قاعدته هى س = $\frac{١}{٢}$ بع × بف = $\frac{١}{٢}$ ه × بف وإذا رمزنا لثقل المتر المكعب من الأتربة بحرف ى يكون ثقل المنشور المذكور بالنسبة للمتر الطولى هو

ق = (ى ه / ٢) × ى ف

ولكن ى ف = ه طا ب/٢ حينئذ فيكون

ق = (ى ه² / ٢) طا ب/٢

ثم نرمز بحرف ك لدفع الاتربة على الوجه الداخل ى ع للحائط ونلاحظ أنه يعلم مقدار الدفع المذكور متى علمت القوة المضادة له فى الاتجاه والمتزنة معه ونقول ان ثقل منشور الدفع ق الذى يميل لاحداث تحرك الحائط فى الاتجاه ع ح يتحلل الى قوتين احداهما ح ر موازية الى ف ع والأخرى ح ص عمودية على ف ع فاما القوة الاولى فهى التى وحدها تحدث الانزلاق وأما القوة الثانية فينشأ عنها الاحتكاك على مستوى الانزلاق ف ع ومقدار هاتين القوتين هما

ح ر = ق حا ب/٢ ، ح ص = ق حا ج/٢

وحيث ان الثقل ق واقع فى مركز الثقل ح للمنشور ى ع ف فالمركبة ح ر تقطع الوجه ى ع للحائط فى نقطة م بحيث يكون ع م = ١/٣ ع ى = ١/٣ ه

فهذه النقطة هى التى يؤثر فيها الدفع كما سنبرهن على ذلك فيما بعد وحيث أن القوى التى تعارض انزلاق المنشور هى أولا مدافعة كتلة الحائط ل ى ع ح أعنى المقاومة الافقية ك التى تمانع الانقلاب وثانيا الاحتكاك

فيمكن تحليل المدافعة الافقية ك الى قوتين احداهما وم = ك حا ب/٢ (وهى قوة مقاومة) مؤثرة فى اتجاه ح ر و فى جهة مضادة لجهة القوة التى تحدث الانزلاق

والأخرى م ج = ك حا ب/٢ العمودية على ح ر وحينئذ فتكون عمودية على ع ف ولا تحدث سوى ازدياد الاحتكاك وحيث ان هذا الاحتكاك مناسب الوحص اعنى الى الضغط العمودى على مستوى الانزلاق ع ف والى معامل الاحتكاك ء للأتربة على نفسها فيكون مقداره هو

ق ء حا ب/٢ (وهو قوة مقاومة)

وحينئذ فشدة الاحتكاك المنسوب للمركبة م ج للقوة ك تكون مساوية الى

ء ك حا ب/٢ (وهى قوة مقاومة)

وبمساواة القوة المحركة بالقوة المقاومة تحصل معادلة التوازن وهى

ق حا ب/٢ = ك حا ب/٢ + ق ء حا ب/٢ + ء ك حا ب/٢

شكل (٦٦)

ومن هذه

ومن هذه المعادلة يحدث

$$ك = ن \frac{حا \frac{ب}{٢} - ى حا \frac{ب}{٢}}{حا \frac{ب}{٢} + ى حا \frac{ب}{٢}}$$

وحيث ان $ى = \frac{حا ا}{حتا ا}$ يكون

$$ك = \frac{حا \frac{ب}{٢} - \frac{حا ا}{حتا ا} حا \frac{ب}{٢}}{حا \frac{ب}{٢} + \frac{حا ا}{حتا ا} حا \frac{ب}{٢}} \times ن$$ أو

$$ك = \frac{حا \frac{ب}{٢} حتا ا - حا ا حا \frac{ب}{٢}}{حا \frac{ب}{٢} حتا ا + حا ا حا \frac{ب}{٢}} \times ن = ن \times \frac{حا (ا + \frac{ب}{٢})}{حا (ا + \frac{ب}{٢})}$$ أو

$$ك = ن \; ظا (ا + \frac{ب}{٢})$$

ولكن حيث أن $ن = \frac{ى ھ^{٢}}{٢} ظا \frac{ب}{٢}$ ،

$ظا (ا + \frac{ب}{٢}) = \frac{١}{ظا (ا + \frac{ب}{٢})}$ فيكون

$$ك = \frac{ى ھ^{٢}}{٢} \times \frac{ظا \frac{ب}{٢}}{ظا (ا + \frac{ب}{٢})}$$

وحيث أن $ا + \frac{ب}{٢} = ٩٠ - \frac{ب}{٢}$ فيكون

$$ك = \frac{ى ھ^{٢}}{٢} \times \frac{ظا \frac{ب}{٢}}{ظا (٩٠ - \frac{ب}{٢})} = \frac{ى ھ^{٢}}{٢} \times \frac{ظا \frac{ب}{٢}}{ظتا \frac{ب}{٢}} = \frac{ى ھ^{٢}}{٢} \times \frac{ظا \frac{ب}{٢}}{\frac{١}{ظا \frac{ب}{٢}}}$$ أو

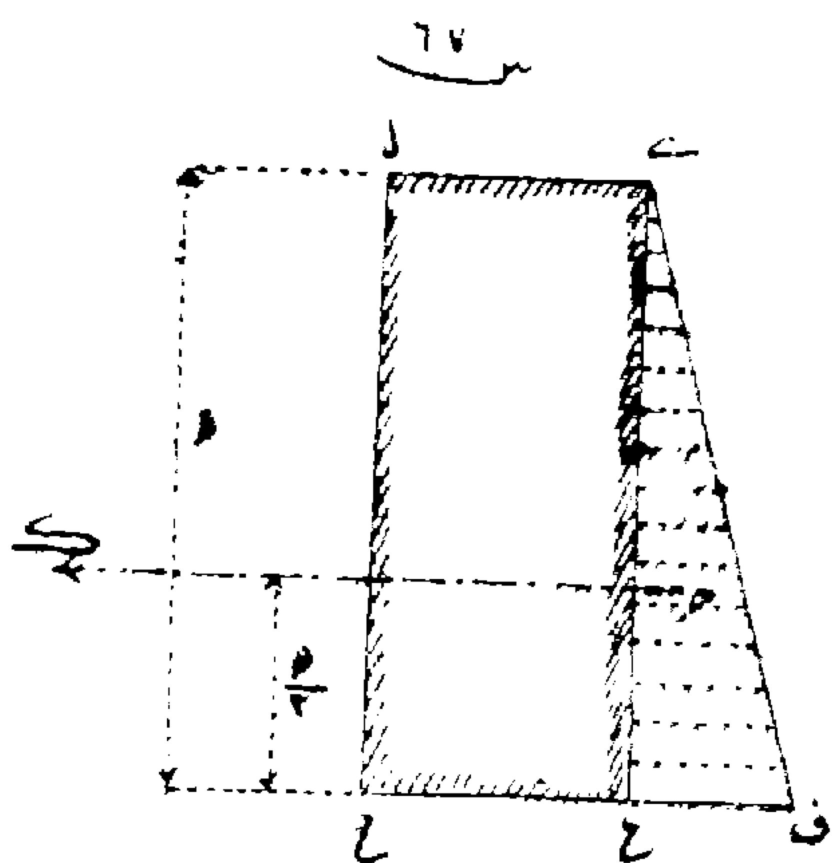
$$ك = \frac{ى ھ^{٢}}{٢} \times ظا^{٢} \frac{ب}{٢}$$

ومن هذه المعادلة تتعين مقدار الدفع ك للاتربة فى الحالة التى يكون فيها الوجه الداخل للحائط رأسيا والسطح العلوى للاتربة افقيا ومارا بقمة الحائط

ولاجل البرهنة على أن هذا الدفع يمر بثلث ارتفاع الحائط من اسفل ويكون عموديا على الوجه الداخل يقال

ان مقدار الدفع المذكور يمكن وضعه بهذه الصورة

$$ك = ى ھ \times \frac{ھ ظا^{٢} \frac{ب}{٢}}{٢}$$



ويفهم من ذلك أن الدفع ك للاتربة على الوجه ح ع للحائط شكل ٦٧ يتحصل أيضا بضرب ثقل المتر المكعب من الاتربة ى فى مساحة مثلث قائم الزاوية ح ع ف ارتفاعه ھ وقاعدته ع ف هى

$$ھ \; ظا^{٢} \frac{ب}{٢}$$

وحيث ان هذه القاعدة تدل على الضغط فى أسفل الحائط وأن الموازيات لها تدل على الضغوط فى النقط المختلفة من الوجه ع ح على التناظر فالمحصلة ك لجميع

هذه الضغوط الجزئية تمر حينئذ بمركز الثقل حـ للمثلث أعنى انها تمر فى ثلث الارتفاع هـ للحائط من أسفل وزيادة على ذلك فقوة الدفع ك المذكورة تؤثر بالتعامد على الوجه ع ى حيث أنها موازية للقاعدة ع ف

عزم الدفع ك ـ حيث ان زراع رافعة الدفع المذكور يساوى $\frac{\text{هـ}}{3}$ فيكون عزمه الذى يرمز اليه بالرمز $\text{ع}_{\text{ك}}$ هو

$$\text{ع}_{\text{ك}} = \frac{1}{2}\,\text{ى}\,\text{هـ}^{2}\,\text{ط}^{2}\frac{\text{ب}}{2} \times \frac{1}{3}\,\text{هـ} = \frac{1}{6}\,\text{ى}\,\text{هـ}^{3}\,\text{ط}^{2}\frac{\text{ب}}{2}$$

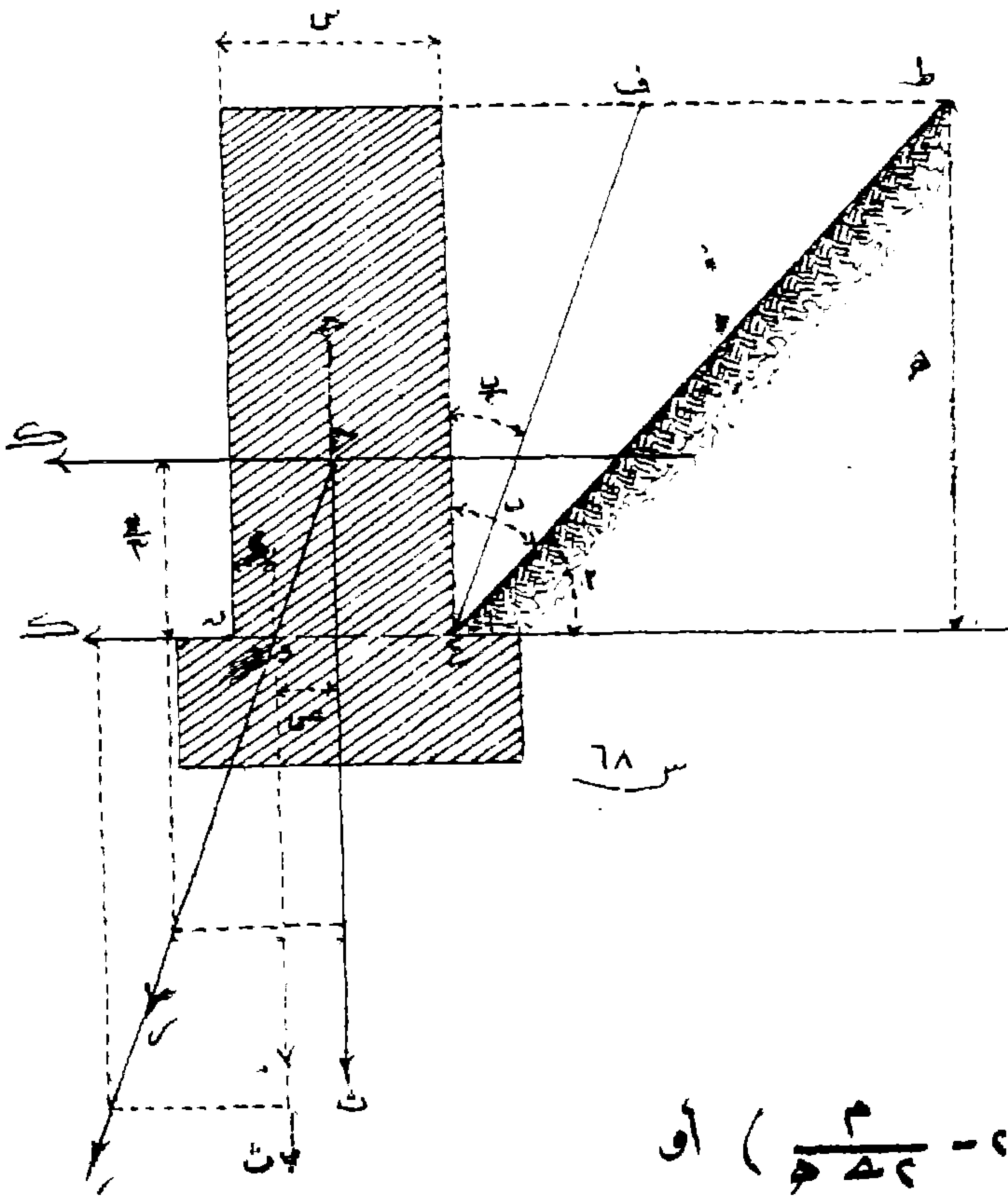
فاذا الرتفع النظر عن تماسك الاتربة فان نقطة تأثير الدفع ك توجد أسفل ثلث ارتفاع الحائط بقليل لكن فى العمل نعتبر دائما أنها مؤثرة فى ثلث الارتفاع

عزم مقاومة الحائط ـ اذا اعتبرنا قطاع الحائط مستطيلا ورمزنا لسمكه بحرف س ولثقل المتر المكعب من البناء بالرمز ح يكون ثقل الحائط ث باعتبار طوله مترا واحدا هو

$$\text{ث} = \text{ح}\,\text{هـ}\,\text{س}$$

وعزمه بالنسبة لنقطة و التى هى نقطة تأثير محصلة الثقل ث ودفع الاتربة ك شكل ٦٨ هو

$$\text{ث} \times \text{ص} = \text{ح}\,\text{هـ}\,\text{س} \times \text{ص}$$



وحينئذ لأجل حصول التوازن يكون

$$\frac{1}{6}\,\text{ى}\,\text{هـ}^{3}\,\text{ط}^{2}\frac{\text{ب}}{2} = \text{ح}\,\text{هـ}\,\text{س} \times \text{ص} \quad \ldots\ldots (\text{ب})$$

ولكن

$$\text{ص} = \frac{\text{س}}{2} - \text{ى} \quad \ldots\ldots\ldots (\text{ح})$$

وحيث أنه لحصول الثبات يلزم أن المحصلة م للثقل ث والدفع ك تقطع قاعدة الحائط فى نقطة متباعدة عن الضلع ن الذى تميل للدوران حوله ببعد أكثر من ثلث سمك الحائط فيكون

$$\text{م} = \frac{2\,\text{ث}}{\text{س}}\left(2 - \frac{3\,\text{ى}}{\text{س}}\right)$$

التى فيها م رمز لمعامل مقاومة البناء ومنها يحدث

$$\text{ى} = \frac{2\,\text{س}}{3} - \frac{\text{م}\,\text{س}^{2}}{6\,\text{ث}}$$

وحيث أن ث = ح هـ س فيكون

$$\text{ى} = \frac{2\,\text{س}}{3} - \frac{\text{م}\,\text{س}^{2}}{6\,\text{ح}\,\text{هـ}\,\text{س}} = \frac{\text{س}}{3}\left(2 - \frac{\text{م}}{2\,\text{ح}\,\text{هـ}}\right) \quad \text{أو}$$

$$\text{ى} = \frac{\text{س}}{3} \times \frac{4\,\text{ح}\,\text{هـ} - \text{م}}{2\,\text{ح}\,\text{هـ}} = \frac{\text{س}}{6} \times \frac{4\,\text{ح}\,\text{هـ} - \text{م}}{\text{ح}\,\text{هـ}}$$

واذا وضع عوضا عن ى مقداره فى معادلة (ح) يحدث

$$\text{ص} = \frac{\text{س}}{2} - \frac{\text{س}}{6} \times \frac{4\,\text{ح}\,\text{هـ} - \text{م}}{\text{ح}\,\text{هـ}} = \frac{\text{س}}{6}\left(3 - \frac{4\,\text{ح}\,\text{هـ} - \text{م}}{\text{ح}\,\text{هـ}}\right) = \frac{\text{س}}{6} \times \frac{\text{م} - \text{ح}\,\text{هـ}}{\text{ح}\,\text{هـ}}$$

واذا وضع عوضا عن ص مقداره فى معادلة (ب) يحدث

$\frac{1}{6}$ ى هـ ب

$$\frac{١}{٦}\,\text{ى}\,\text{ﻫ}^{٣}\,\text{طا}^{٢}\,\frac{\text{ب}}{٢}=\text{ح}\,\text{ﻫ}\,\text{س}\times\frac{\text{س}}{٦}\times\frac{\text{م}-\text{ح}\,\text{ﻫ}}{\text{ح}\,\text{ﻫ}}\quad\text{أو}$$

$$\text{ى}\,\text{ﻫ}^{٣}\,\text{طا}^{٢}\,\frac{\text{ب}}{٢}=\text{س}^{٢}\,(\text{م}-\text{ح}\,\text{ﻫ})\quad\text{ومنها يحدث}$$

$$\text{س}=\text{ﻫ}\,\text{طا}\,\frac{\text{ب}}{٢}\sqrt{\frac{\text{ى}\,\text{ﻫ}}{\text{م}-\text{ح}\,\text{ﻫ}}}\quad\ldots\ldots\;(٢)$$

ومن هذه المعادلة يتعين مقدار السمك س

وقد يمكن ايجاد مقدار السمك س بطريقة أبسط من ذلك وهى أن يؤخذ العزم بالنسبة للحرف الخارج د مباشرة فيكون

$$\frac{\text{ح}\,\text{ﻫ}\,\text{س}^{٢}}{٢}=\frac{١}{٦}\,\text{ى}\,\text{ﻫ}^{٣}\,\text{طا}^{٢}\,\frac{\text{ب}}{٢}$$

وحيث أن مقدار س المستخرج من المعادلة يحدث للحائط توازنا وقتيا بسبب أن محصلة جميع الضغوط الواقعة على الحائط تمر بالحرف الخارج د الذى تدور حوله الحائط المذكورة بمجرد حصول أدنى فرق فى التوازن

فحينئذ لأجل التحقق من حصول الاستدامة يقتضى ضرب الطرف الثانى من المعادلة السابقة فى معامل أكبر من الواحد وقد ظهر من التجربة أنه يلزم جعل المعامل المذكور مساويا الى ٢ وعلى هذا يكون

$$\frac{\text{ح}\,\text{ﻫ}\,\text{س}^{٢}}{٢}=\frac{١}{٣}\,\text{ى}\,\text{ﻫ}^{٣}\,\text{طا}^{٢}\,\frac{\text{ب}}{٢}\quad\text{أو}$$

$$\text{س}^{٢}=\frac{٢}{٣}\,\frac{\text{ى}}{\text{ح}}\,\text{ﻫ}^{٢}\,\text{طا}^{٢}\,\frac{\text{ب}}{٢}\quad\text{ومنها يحدث}$$

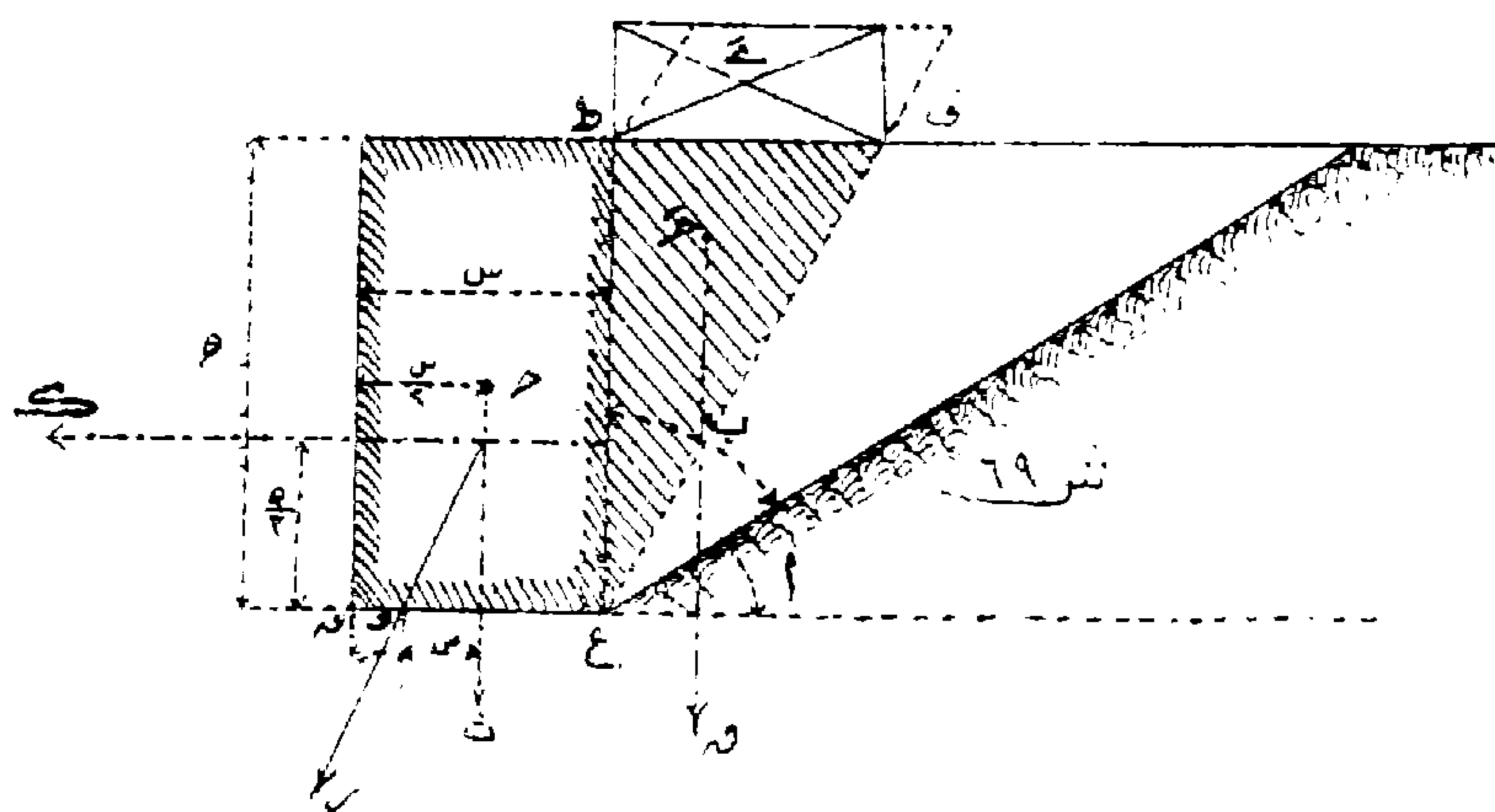
$$\text{س}=\text{ﻫ}\,\text{طا}\,\frac{\text{ب}}{٢}\sqrt{\frac{٢}{٣}\,\frac{\text{ى}}{\text{ح}}}\quad\ldots\ldots\;(١)$$

ولا يخفى أن الأسباب الأصلية التى ينشأ عنها تلف الحيطان الساندة ثلاثة وهى الانقلاب والانزلاق والتفتت فلو أثر أحد هذه الأسباب بمفرده أو بالاشتراك مع أحد السببين الآخرين أو كلاهما على حائط ساندة لسقطت تلك الحائط فى الحال وقد ثبت من التجارب أنه اذا كانت الحائط تقاوم تأثيرى التفتت والانقلاب فلا يخشى عليها من تأثير الانزلاق

فعلى هذا يقتضى للأمن على ثبات الحائط وعدم كسرها ان يتحقق بعد تعيين سمكها أولا من أن الضغط فى أى نقطة من سطح المدماك الأسفل للحائط يلزم أن يكون أقل من معامل المقاومة م أو فى النهاية مساويا له وثانيا من أن اتجاه محصلة دفع الأتربة وثقل الحائط معا يلزم أن يكون قاطعا لسطح القاعدة فى نقطة متباعدة عن الضلع الذى تميل الحائط للدوران حوله بمقدار أزيد من ثلث السمك أو فى النهاية الصغرى مساويا لثلث السمك المذكور

وثالثا من أن مقدار الاحتكاك الناشئ من المركبة الرأسية للمحصلة السابقة على سطح الأساس يلزم أن يكون أكبر من قوة الانزلاق أى أكبر من المركبة الأفقية للمحصلة المذكورة

الحالة التى يوجد فيها فوق سطح الأتربة حمل اضافى — اذا كان المنشور ذو الدفع الأعظم محملا بحمل اضافى كما فى شكل ٦٩ فانه يلزم اضافة ثقل الحمل المذكور على ثقله وحينئذ لتعيين السمك س للحائط الساندة مع ملاحظة تطبيق الحساب دائما على طول متر واحد من الحائط والمنشور ذى



الدفع الأعظم نرمز بالرمز ح للثقل الكلي للحمل الاضافي الواقع على المنشور ذي الدفع الأعظم المذكور وبالرمز قَ لثقل الحمل الأضافي المذكور بالنسبة للمتر المربع ثم نعتبر باقي الرموز السابقة ونلاحظ أن ثقل المنشور ذي الدفع الاعظم في الحالة السابقة هو

$\text{ده} = \frac{١}{٢}\,\text{ى}\,\text{ه}^{٢}\,\text{طا}\,\frac{\text{ب}}{٢}$ وكذا مقدار الدفع هو

$\text{ك} = \frac{١}{٢}\,\text{ى}\,\text{ه}^{٢}\,\text{طا}^{٢}\,\frac{\text{ب}}{٢}$

ويفهم من ذلك أن $\text{ك} = \text{ده} \times \text{طا}\,\frac{\text{ب}}{٢}$

وحينئذ باعتبار الثقل الأضافي ح يقتضي تعويض ده بالمقدار $\text{ده} + \text{ح}$ وعليه يكون

$\text{ك} = (\text{ده} + \text{ح})\,\text{طا}\,\frac{\text{ب}}{٢}$

وحيث أن $\text{ح} = \text{قَ} \times \text{وف} = \text{قَ} \times \text{ه}\,\text{طا}\,\frac{\text{ب}}{٢}$ فيكون

$\text{ك} = \left(\frac{١}{٢}\,\text{ى}\,\text{ه}^{٢}\,\text{طا}\,\frac{\text{ب}}{٢} + \text{قَ}\,\text{ه}\,\text{طا}\,\frac{\text{ب}}{٢}\right)\text{طا}\,\frac{\text{ب}}{٢}$ أو

$\text{ك} = \text{ه}\left(\frac{\text{ى}\,\text{ه}}{٢} + \text{قَ}\right)\text{طا}^{٢}\,\frac{\text{ب}}{٢}$ أو

$\text{ك} = \frac{\text{ه}}{٢}\,(\text{ى}\,\text{ه} + ٢\,\text{قَ})\,\text{طا}^{٢}\,\frac{\text{ب}}{٢}$

وعزم هذا الدفع هو $\text{ع}_{\text{ك}} = \frac{\text{ه}}{٢}\,(\text{ى}\,\text{ه} + ٢\,\text{قَ})\,\text{طا}^{٢}\,\frac{\text{ب}}{٢} \times \frac{\text{ه}}{٣} = \frac{\text{ه}^{٢}}{٦}\,(\text{ى}\,\text{ه} + ٢\,\text{قَ})\,\text{طا}^{٢}\,\frac{\text{ب}}{٢}$

وعزم ثقل الحائط هو $\text{ع}_{\text{ث}} = \text{ح}\,\text{ه} \times \frac{\text{س}^{٢}}{٢}$ ويلزم لحصول التوازن المستديم أن يكون

$\text{ع}_{\text{ث}} = ٢\,\text{ع}_{\text{ك}}$ أعني يكون

$\frac{\text{ح}\,\text{ه}\,\text{س}^{٢}}{٢} = ٢\left[\frac{\text{ه}^{٢}}{٦}\,(\text{ى}\,\text{ه} + ٢\,\text{قَ})\,\text{طا}^{٢}\,\frac{\text{ب}}{٢}\right]$ ومنها يحدث

$\text{س} = \text{ه}\,\text{طا}\,\frac{\text{ب}}{٢}\sqrt{\frac{٢}{٣\,\text{ح}}\left(\text{ى} + \frac{٢\,\text{قَ}}{\text{ه}}\right)}$ .... (٢)

ويمكن حساب السمك س بطريقة أخذ العزم بالنسبة لنقطة و التي هي نقطة تأثير المحصلة ر كالطريقة السابقة فيكون

$\text{س} = \text{ه}\,\text{طا}\,\frac{\text{ب}}{٢}\sqrt{\frac{\text{ى}\,\text{ه} + ٢\,\text{قَ}}{\text{م} - \text{ح}\,\text{ه}}}$ .... (٢َ)

تنبيه - بمجرد ازدياد الحمل الاضافي فأن نقطة تأثير الدفع ترتفع عن ثلث الارتفاع ه للحائط وأمام جهة الخط المنصف ع ف فلا يبقى على حاله الا اذا كان الحمل الاضافي المذكور موزعا بانتظام على المنشور ذي الدفع الاعظم وهو الحالة الكثيرة الاعتياد

وفي العمل

وفي العمل لا تعتبر على العموم الأحوال التي تغير نقطة تأثير الدفع ووضع الخط المنصف للزاوية ب اذ بخلاف ذلك تكون مسألة سند الأتربة متشعبة وغير منتهية عوضاً عن أن تكون داخلة تحت حكم القواعد العمومية السهلة الفهم والمستعملة في التطبيقات

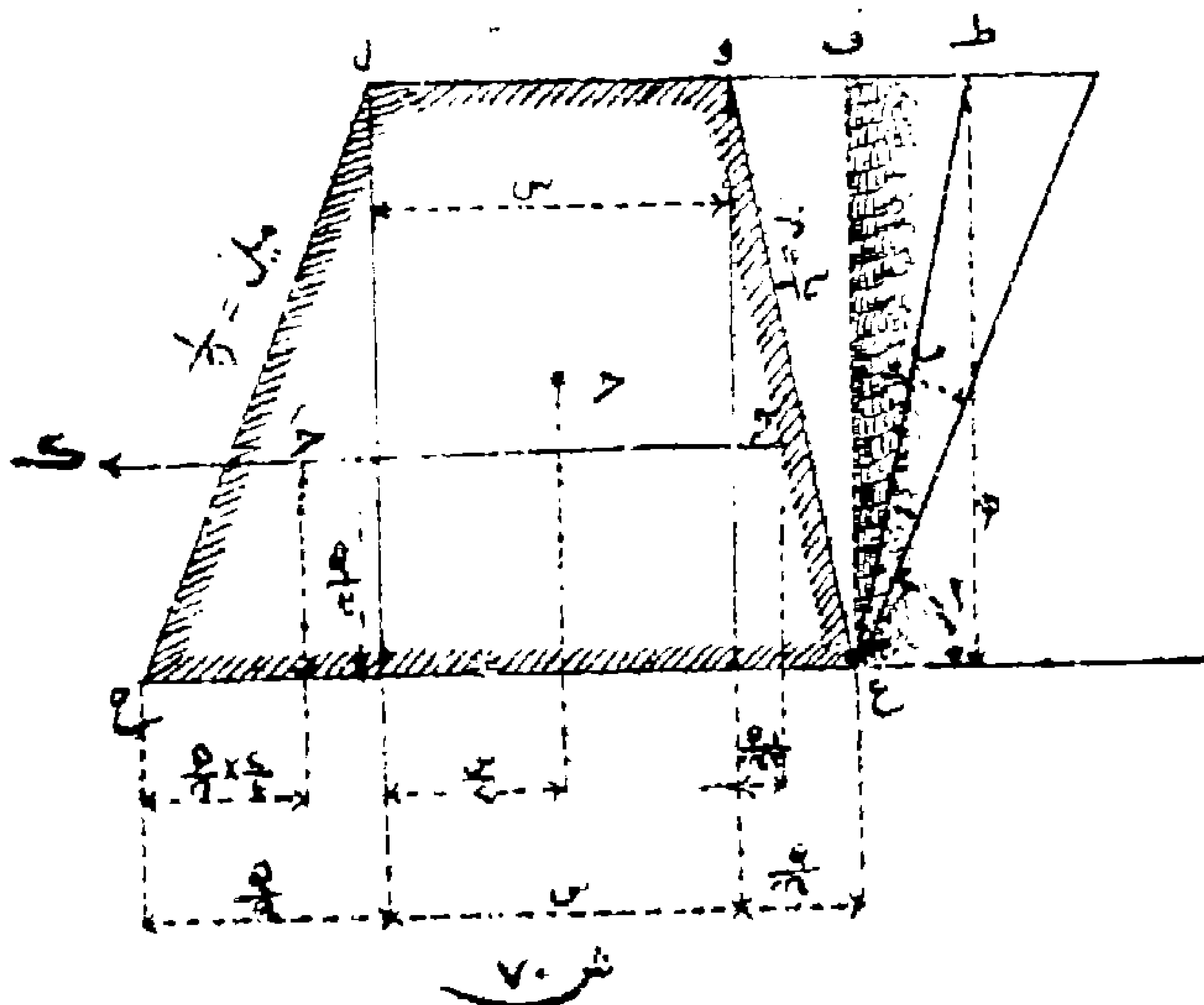
وقد ظهر بناء على المناقشات الرياضية العديدة أنه مهما كان شكل الحائط الساندة وشكل الاتربة المطلوب سندها فأنه يمكن اعتبار اتجاه دفع الاتربة أفقيا

في تعيين أسماك الحيطان الساندة في الاحوال المختلفة الآتية

اولا – اذا كان كل من الوجهين الداخل والخارج للحائط مائلا بحيث أن ميل الوجه الخارج = $\frac{1}{\text{ن}}$ وميل الوجه الداخل = $\frac{1}{\text{ن}}$ وأن ارتفاع الحائط = هـ وسطح الاتربة أفقيا وفي استواء قمة الحائط كما في شكل ٧٠ فأن سمك الحائط المذكور في القمة يتعين من القانون الآتي

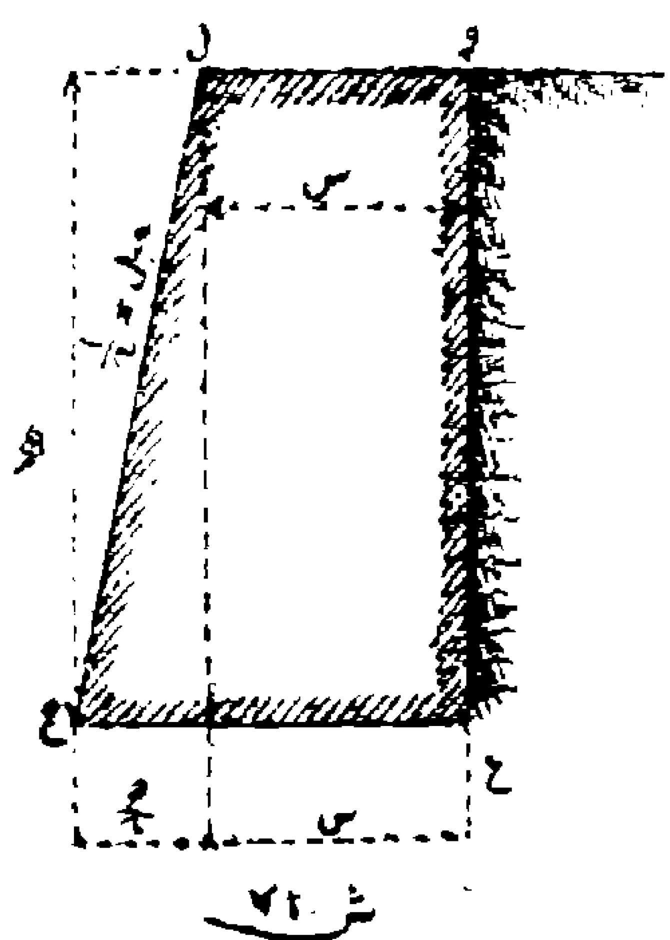
$$\text{س} = \text{هـ}\left[-\left(\frac{1}{\text{ن}}+\frac{1}{2\text{ن}}\right) \pm \sqrt{\frac{2\text{ى}}{3\text{ك}}\,\text{ى}\,\text{طا}^2\frac{\text{ب}}{2}+\frac{1}{3\text{ن}^2}-\frac{1}{12\text{ن}^2}}\;\right] \ldots (3)$$

وهذا القانون محسوب على اعتبار أن مقدار دفع الاتربة ناشئ عن دفع المنشور ف ع ط فقط ومقطوع النظر عن المنشور و ع ف حيث ان هذا المنشور من الاتربة لا يؤثر على الحائط بالنسبة للدوران حول الحرف ح نعم وان كان يؤثر على الحائط بالنسبة للانزلاق الا أنه متى كان الحائط كافيا لمقاومة تأثير الانقلاب والتفت فأنه لا يخشى عليه من تأثير الانزلاق كما سبق


ش ٧٠

وثانيا اذا كان الوجه الخارج للحائط مائلا والداخل رأسيا وسطح الاتربة أفقيا كما في شكل ٧١ فأن سمك الحائط في القمة يتعين من القانون

$$\text{س} = \text{هـ}\left[-\frac{1}{\text{ن}} \pm \sqrt{\frac{2\text{ى}}{3\text{ك}}\,\text{ى}\,\text{طا}^2\frac{\text{ب}}{2}+\frac{1}{3\text{ن}^2}}\;\right] \ldots (4)$$


ش ٧١

وثالثا اذا كان الوجه الداخل للحائط مائلا والخارج رأسيا وسطح الاتربة افقيا كما في شكل ٧٢ فأن سمك الحائط في القمة يتعين من القانون

$$\text{س} = \text{هـ}\left[-\frac{1}{2\text{ن}} \pm \sqrt{\frac{2\text{ى}}{3\text{ك}}\,\text{ى}\,\text{طا}^2\frac{\text{ب}}{2}-\frac{1}{12\text{ن}^2}}\;\right] \ldots (5)$$

واذا أريد عمل حائط ساندة يكون بها قصص من الداخل فيحسب سمك الحائط المذكور في القمة بقانون (٥) ايضا باعتبار أن الوجه الداخل و ع مائل بميل $\frac{1}{\text{ن}}$ وأن خط الميل و ع يكون مارا

بمنتصفات القصص كما فى شكل ٧٣

ورابعا متى كان سطح الأتربة محملا بحمل اضافى ووجها الحائط الداخل والخارج مائلين فان المعادلة الأساسية التى يتعين منها مقدار السمك س تكون بالصورة الآتية

ش ٧٤

ش ٧٢

$$\frac{\text{ه}^2}{3}\,\text{طا}^2\frac{\text{ب}}{2}\,(\text{ى}\,\text{ه} + 2\,\text{ق}) = \text{ث}\left(\frac{\text{ه}\,\text{س}^2}{2} + \frac{\text{ه}'\,\text{س}}{\text{ن}} + \frac{\text{ه}^3}{3\,\text{ن}^2} + \frac{\text{ه}^3}{2\,\text{ن}\,\text{ن}'} + \frac{\text{ه}'\,\text{س}}{2\,\text{ن}'} + \frac{\text{ه}^3}{6\,\text{ن}'^2}\right)$$

ومن هذه المعادلة بعد اجراء التحليلات والاختصارات يحدث

$$\text{س} = \text{ه}\left[-\left(\frac{1}{\text{ن}} + \frac{1}{2\,\text{ن}'}\right) \pm \sqrt{\frac{2}{3\,\text{ث}}\,\text{طا}^2\frac{\text{ب}}{2}\left(\text{ى} + \frac{2\,\text{ق}}{\text{ه}}\right) + \frac{1}{3\,\text{ن}^2} - \frac{1}{12\,\text{ن}'^2}}\,\right] \ldots\ldots (٦)$$

وخامسا متى كان الوجه الخارج للحائط هو المائل فقط يكون

$\frac{1}{\text{ن}'} = 0$ ويحدث

$$\text{س} = \text{ه}\left[-\frac{1}{\text{ن}} \pm \sqrt{\frac{2}{3\,\text{ث}}\,\text{طا}^2\frac{\text{ب}}{2}\left(\text{ى} + \frac{2\,\text{ق}}{\text{ه}}\right) + \frac{1}{3\,\text{ن}^2}}\,\right] \ldots\ldots (٧)$$

وسادسا - متى كان الوجه الداخل للحائط هو المائل فقط يكون

$\frac{1}{\text{ن}} = 0$ ويحدث

$$\text{س} = \text{ه}\left[-\frac{1}{\text{ن}'} \pm \sqrt{\frac{2}{3\,\text{ث}}\,\text{طا}^2\frac{\text{ب}}{2}\left(\text{ى} + \frac{2\,\text{ق}}{\text{ه}}\right) - \frac{1}{12\,\text{ن}'^2}}\,\right] \ldots (٨)$$

وفى حالة ما يكون الحائط له قصص من الداخل فان السمك س يحسب من قانون (٨) باعتبار خط الميل ع و معوضا للقصص ومارا بمنتصف كل منها

(تنبيه) اذا جعل فى قانون (٦) الميل $\frac{1}{\text{ن}} = 0$ ، $\frac{1}{\text{ن}'} = 0$ فى آن واحد فان مقدار س يؤل الى

$$\text{س} = \text{ه}\;\text{طا}\frac{\text{ب}}{2}\sqrt{\frac{2}{3\,\text{ث}}\left(\text{ى} + \frac{2\,\text{ق}}{\text{ه}}\right)}$$

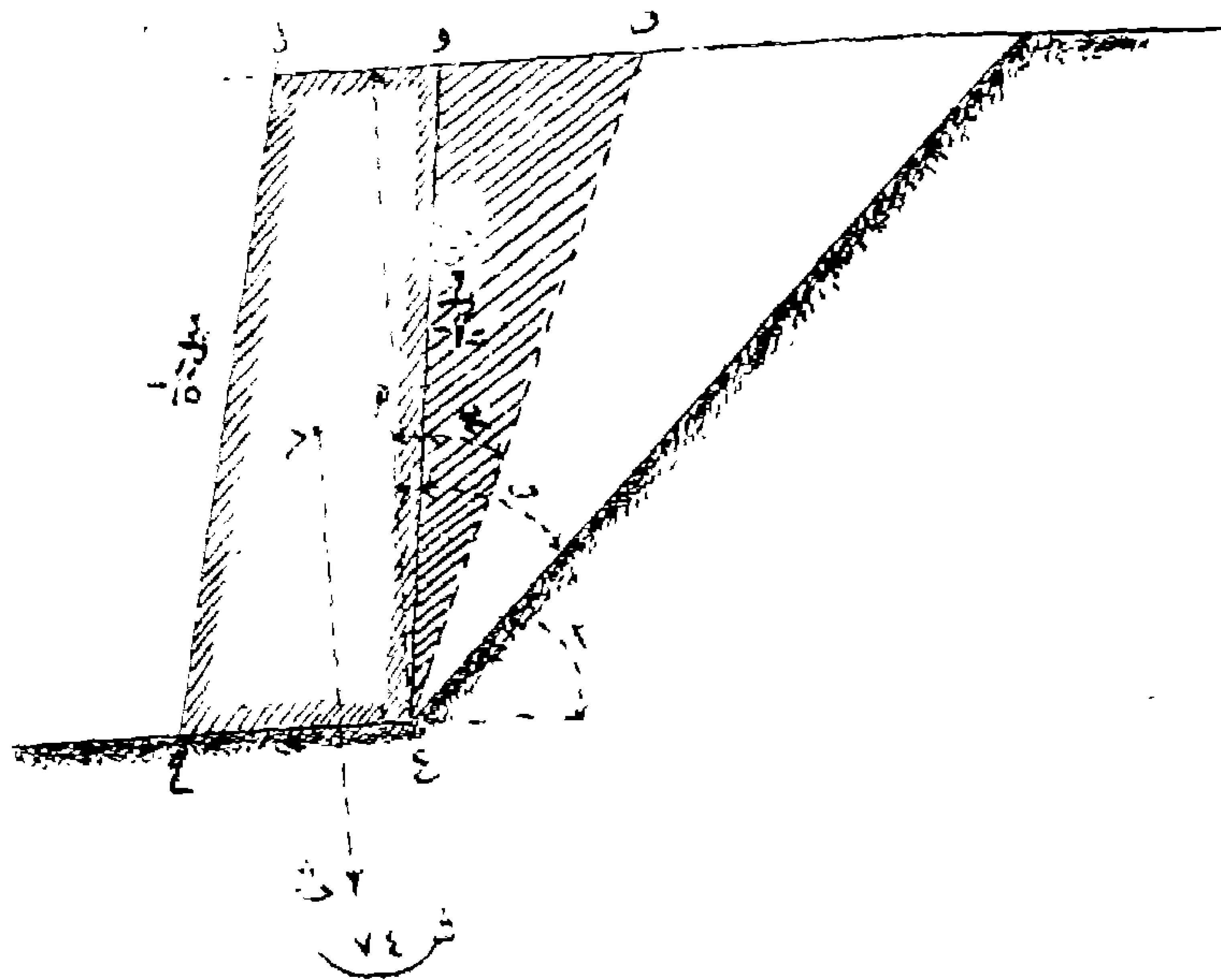
وهذا المقدار هو عين المقدار المستخرج من معادلة (٥) السابقة

فى الحيطان الساندة المائلة الى الداخل

قد يتأتى من باب الوفر جعل الحائط الساندة مائلة الى الداخل اى الجهة الاتربة المطلوب سندها بحيث لايكون هذا الميل كبيرا حتى يمكن للحائط ان تقف من نفسها بدون مساعدة الاتربة لها اذ بخلاف ذلك فان الحائط تنفصل من قاعدتها والتوازن يختل ويكفى لتجنب ذلك ان لا يقع مركز الثقل حـ للحائط على يمين الحرف ع وعلى العموم يجب أن الخط الرأسى المار بمركز الثقل يقطع القاعدة فيما بين ٦٦ر٠ و ٧٠ر٠ من القاعدة بالابتداء من نقطة ع

والميلان

والميلان الكثيرا الاستعمال فى مثل هذه الحيطان هما $\frac{1}{5}$ بالنسبة للوجه الخارج ، $\frac{1}{3}$ بالنسبة للوجه الداخل كما فى شكل ٧٤ وبواسطتها فأن الخط الرأسى المار بمركز الثقل يكون محققا للشرط السابق مهما كان ارتفاع الحائط وحينئذ اذا كان ميل الوجه الخارج هو $\frac{1}{ى}$ وميل الوجه الداخل هو $\frac{1}{ى'}$ كما فى شكل ٧٥ فأن سمك الحائط فى القمة يتعين من القانون



$$س = هـ \left[-\left(\frac{1}{ى} - \frac{1}{2ى'}\right) \pm \sqrt{\frac{1}{3ع}\, ى\, ط^2\frac{ب}{2}(1 - طا و طا 2) + \frac{1}{3ى'} - \frac{1}{12ى'^2}} \right] \quad \ldots\ldots (9)$$

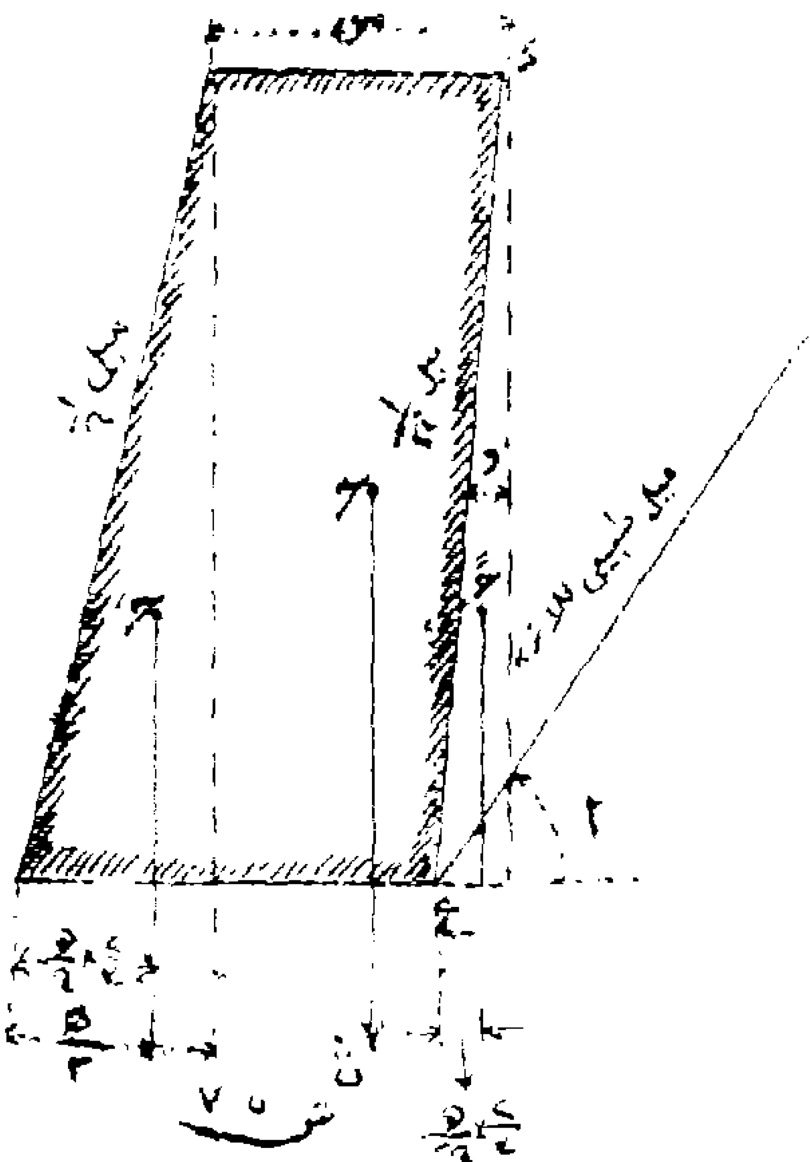
تحقيق هذا القانون — اذا جعل فى هذا القانون $\frac{1}{ى'} = 0$. فأن الوجه ع د يصير رأسيا وتكون زاوية و = ٠ وعليه تكون طا و = ٠ . ويحدث

$$س = هـ \left[-\frac{1}{ى} \pm \sqrt{\frac{ع}{3ع}\, ى\, ط^2\frac{ب}{2} + \frac{1}{3ى^2}} \right]$$

وهو قانون (٤) السابق

فمتى كانت الحائط المائلة الى الداخل ساندة لأتربة عليها حمل اضافى كما سبق فأن سمك الحائط يتعين من القانون

$$س = هـ \left[-\left(\frac{1}{ى} - \frac{1}{2ى'}\right) \pm \sqrt{\frac{ع}{3ع}\, ط^2\frac{ب}{2}(1 - طا و طا 2)\left(ى + \frac{2ع}{هـ}\right) + \frac{1}{3ى'} - \frac{1}{12ى'^2}} \right] \quad \ldots (10)$$



فى حيطان التكسية

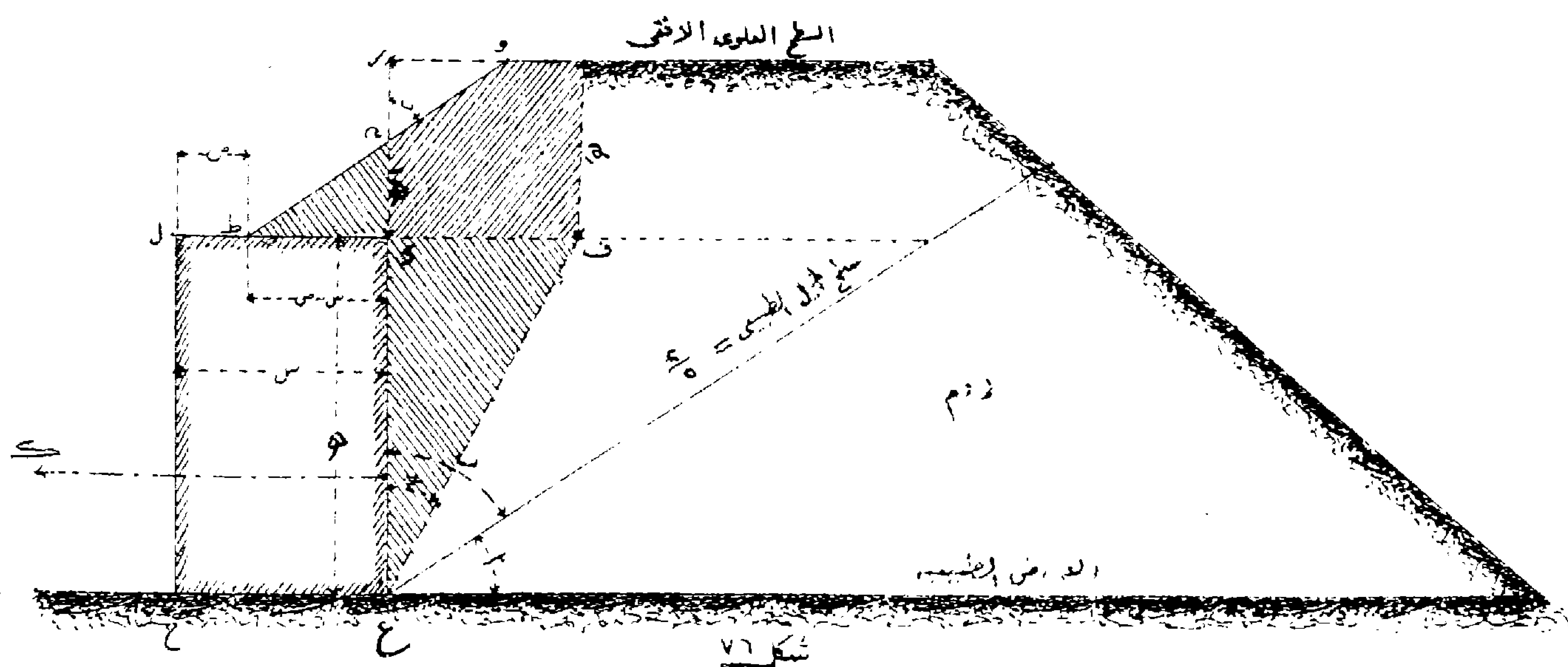
حيطان التكسية لاتقاء الاجزاء من ميل الاتربة وفى هذه الحالة تمتاز عن الحيطان الساندة للاتربة بكون جانب من نفس الاتربة الاصلية يكون واقعا على جزء من قمة الحائط كما هو مشاهد فى الشكل ٧٦

ففى حالة ما يكون وجها حائط التكسية الخارج والداخل رأسيين وكانت المعاليم هى ع د = هـ ، ل ط = ص ، ٧٦ = هـ' شكل ٧٦ فأن مقدار السمك س يتعين بواسطة حل عدة قوانين مرتبطة مع بعضها بالمعاليم الا أن نتيجة ذلك تقرب بكثير من استعمال القانون الذى وضعه المعلم بونسليه بهذا الخصوص وهو

$$س = ٠{,}٨٤٥\ طا \frac{ب}{2}(هـ + هـ')\sqrt{\frac{ع}{ع'}} \quad \ldots\ldots (11)$$

فاذا كان ب = ٤٥° ، ى = $\frac{2}{3}$ ع فأن القانون السابق يؤول الى

س = ٨٦ ، ٠ (هـ + هـَ)



شكل ٧٦

فى القوانين البسيطة المستعملة فى العمل

اذا كان ب = ٥٤° ، ى = ١٧٠٠ كيلوجرام ، ط = ٢٠٠٠ كجم مع ملاحظة ان مقدارى ى ، ط هما المقداران المستعملان عادة فى المتوسط فأن قانون (١) يؤول الى

س = ٠٫٣٠ هـ . . . . (١٢)

فاذا كان للميل مبينا بكسر ٣/٢ اى ان القاعدة = ٣٫٠٠ والارتفاع = ٢٫٠٠ فأن زاوية الانزلاق = ٣٣° ١٨َ ٥٦ً ، طا ب/٢ = ٠٫٣٠٣٥ وبجعل ط = ٢٠٠٠ كجم ، ى = ١٨٠٠ كيلوجرام فأن قانون (١) يؤول أيضا الى

س = ٠٫٤٠ هـ . . . . (١٣)

وباعتبار معاليم قانون (١٣) ماعدا ى الذى يجعل مساويا الى ١٦٠٠ كجم وجعل ١/٢ = ١/٥ ، ١/٢ = ١/١٠ فأن قانون (٩) يؤول الى

س = ٠٫٣٣ هـ . . . . . . (١٤)

وبتغيير ى وجعله مساويا الى ١٤٠٠ كجم فأن قانون (٩) المذكور يؤول ايضا الى

س = ٠٫٢٠ هـ . . . . . . (١٥)

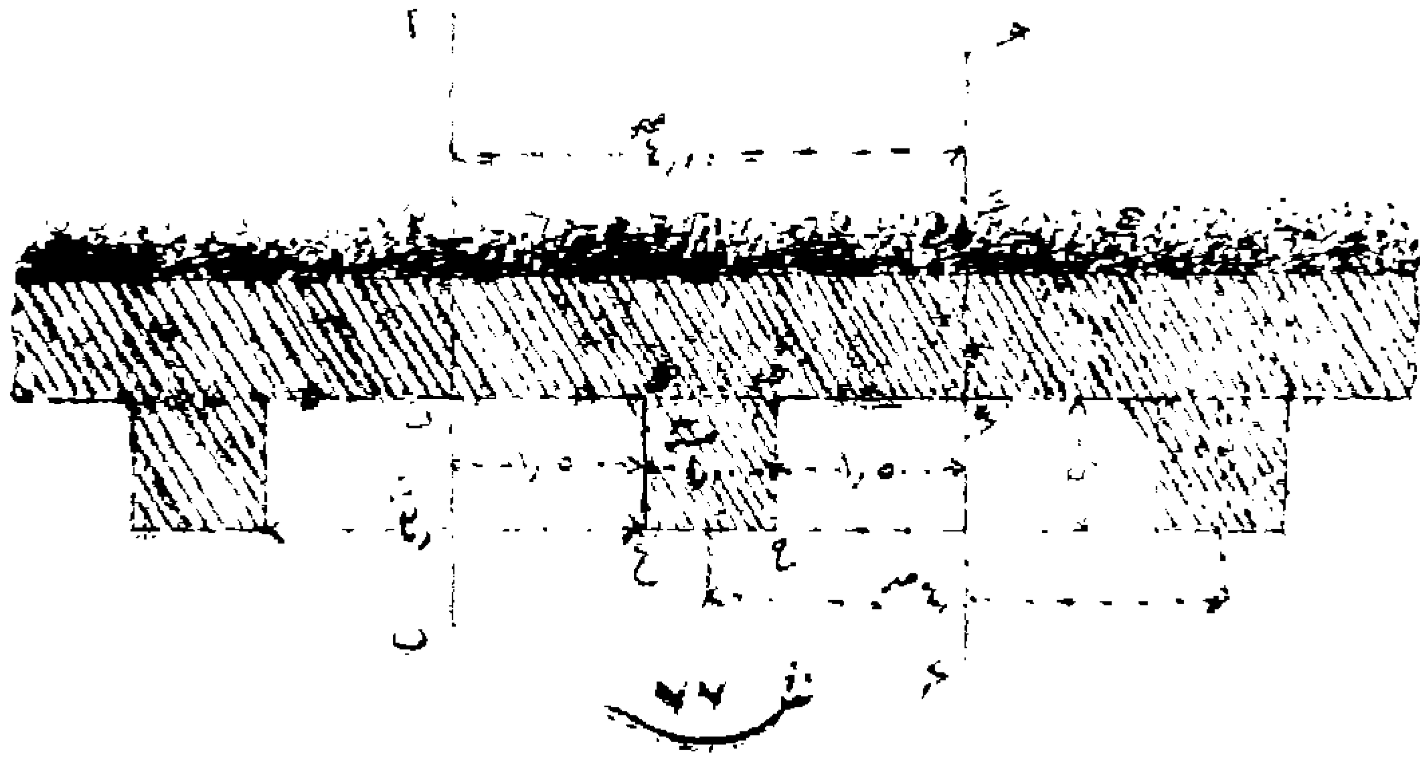
وقد يستعمل القانونان الآتيان لحساب الاسماك المتوسطة س للحيطان الساندة المائلة الى الداخل فى الاحوال البسيطة المستعملة فى العمل حينما يكون الميل الخارج = ١/٥ والميل الداخل = ١/١٠ وهما

(١٦) س = ٠٫١٠ + ٠٫٢٥ هـ متى كان هـ < ٢٫٠٠ متر

(١٧) س = ٠٫٢٥ هـ متى كان هـ > ٢٫٠٠ متر

في الحيطان الساندة ذات الأكتاف الداخلة والخارجة

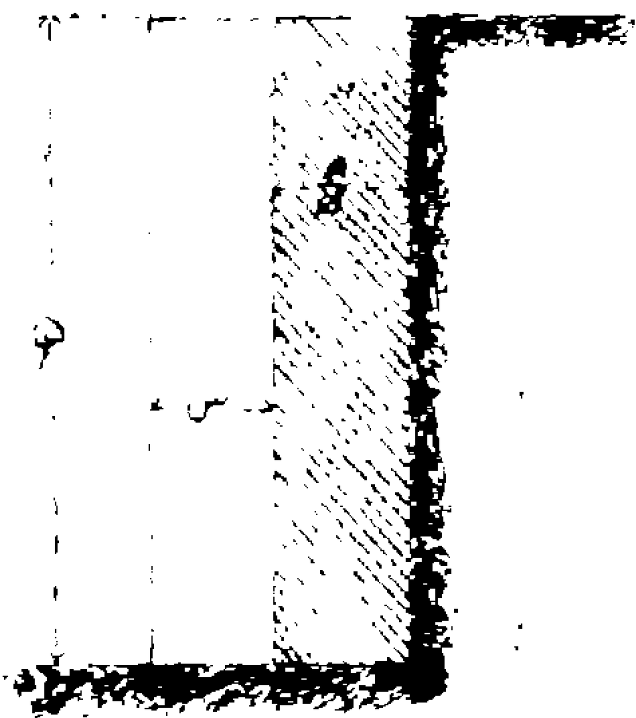
قد تصنع احيانا حيطان ساندة ذات أكتاف للتقوية من الخارج أو من الداخل شكلي ٧٧ و ٧٨ وهذه الأكتاف تكون متباعدة عادة عن بعضها من محور الى آخر بمقدار أربعة امتار ويكون عرض الكتف مترا واحدا وقطاع البارز مستطيل عادة وفي حالة ما يراد جعل هذا القطاع شبه منحرف فأنه بعد حساب بروزه على اعتبار ان القطاع مستطيل يحول الى قطاع شبه منحرف مكافئ له وأما وجها نفس الحائط الأصلية من الداخل والخارج فيكونان رأسيين على الدوام وقد يجعل بناء على ما ظهر من التجارب السمك أ‌َت للحائط الأصلية أ‌َت = ح‌َ مساويا الى خمس أو سدس ارتفاع الاتربة المسنودة أعني ان السمك أ‌َت = $\frac{هـ}{ك}$ ك يتغير من ٥ الى ٦



ثم أنه لحساب مقدار بروز الكتف س يؤخذ عزم الكتلة أ‌َح ‌ءَ ف ح ع وت المحصورة بين القطاعين اب ، ح ء المارين بالمنتصفين ت ، ا ‌ءَ بالنسبة لحرف ع ح الذى تميل الكتلة المذكورة للدوران حوله بتأثير دفع الاتربة ويساوى العزم المذكور بعزم دفع الاتربة بالنسبة للحرف المذكور وعلى هذا فيكون

$$س = \frac{هـ}{ك} \left(-٤ \pm \sqrt{١٢ + ٦٤ ر ك^٢} \right) \; ..... \; (١٨)$$

وهذا القانون مؤسس على فرض ان الميل الطبيعي للأتربة مبين بكسر $\frac{٢}{٣}$ أعني ان الارتفاع ٢ والقاعدة ٣

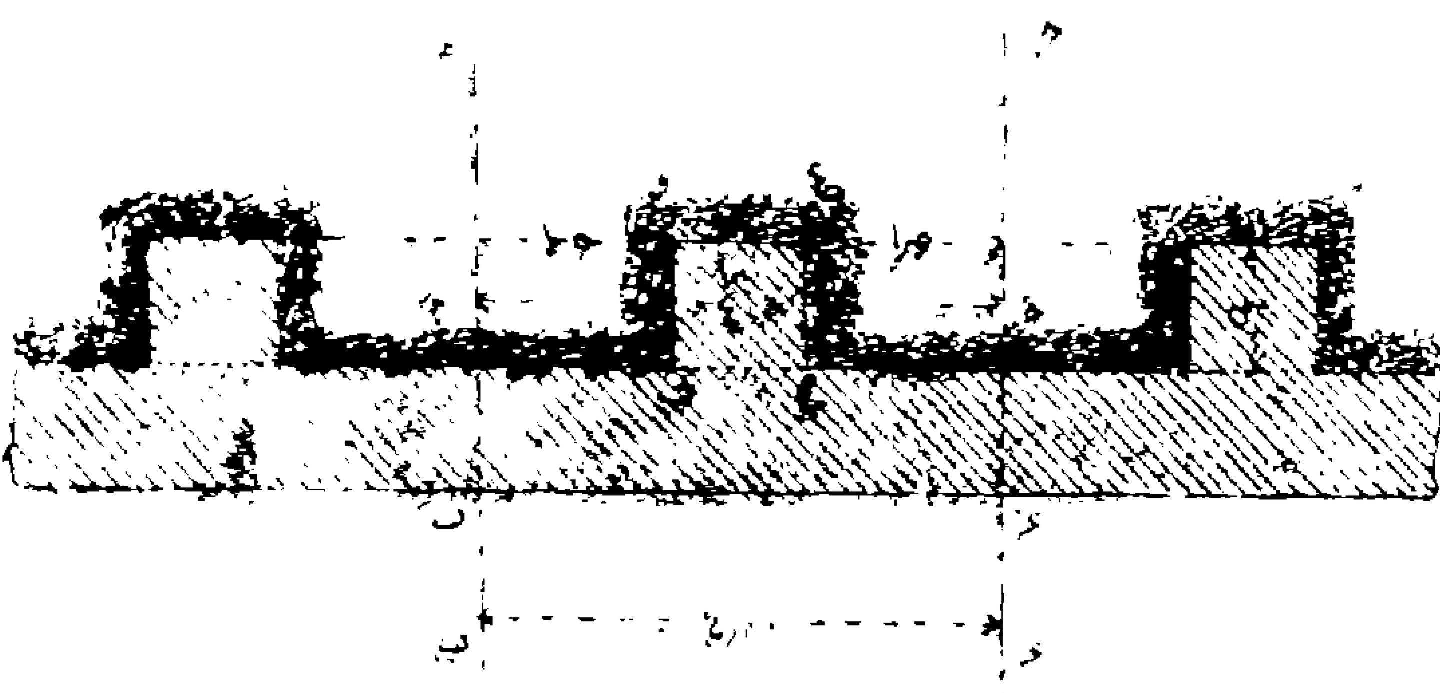


وفي حالة ما يكون الميل الطبيعي للاتربة يساوى ٤٥° فان قانون (١٨) يؤول الى

$$س = \frac{هـ}{ك} \left(-٤ \pm \sqrt{١٢ + ٣٦ ر ك^٢} \right) \; .... \; (١٩)$$

قد اعتبر في تعيين قانوني (١٨) ، (١٩) أنه ليس هناك حمل اضافي وهذا أمر لا يتأتى في أغلب الأحيان وحينئذ اذا رمزنا للارتفاع المقابل للحمل الاضافي الواقع على المتر المربع من السطح العلوى للأتربة باعتباره اتربة بالرمز هـ‌َ فيلزم اضافة هذا الارتفاع الى هـ وحينئذ يكون سمك الحائط الأصلي مساويا الى

$$\frac{هـ + هـ‌َ}{ك}$$

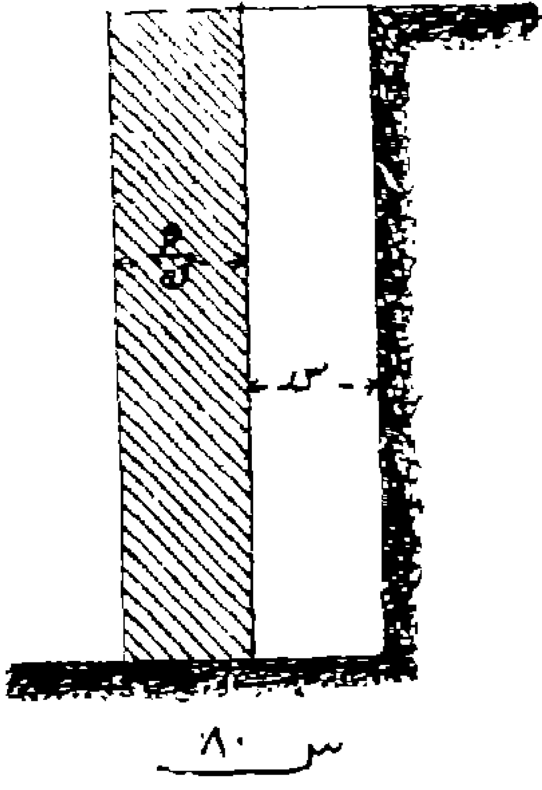


واذا كانت أكتاف التقوية من الداخل كما في شكل ٧٩ و ٨٠ وكان الميل الطبيعي للأتربة مساويا $\frac{٢}{٣}$ فان مقدار البروز س للكتف يتعين من القانون

س = (هـ / ح) (−١ ± √(٦٤ر٠ ك² − ٣)) .... (٢٠)

واذا كان الميل الطبيعي للاتربة يساوى ٤٥° فيكون مقدار السمك معينا من القانون

س = (هـ / ك) (−١ ± √(٣٦ر٠ ك − ٣)) .... (٢١)



وهاك جدولا مشتملا على نوع الأتربة وثقل المتر المكعب منها والميل الطبيعي لها

نوع الأتربة	ثقل المتر المكعب بالكيلوجرام	مقادير الميل الطبيعي للاتربة على الأفق	نوع الأتربة	ثقل المتر المكعب بالكيلوجرام	مقادير الميل الطبيعي للأتربة على الأفق
رمل ناعم جاف	يختلف من	٢١°	تراب طفلي جاف	١٦٠٠	من ٤٠ الى ٥٠°
رمل ناعم جدا	١٤٠٠ الى ١٩٠٠	من ٣٠ الى ٣٣°	تراب طفلي رطب	١٩٨٠	من ٢٠ الى ٢٥
رمل الانهار	على حسب كونه	٣٣°	تراب نباتي رطب	من ١٦٠٠ الى ١٧٠٠	من ٣٠ الى ٣٧
رمل ناعم جاف جدا	مخلوطا بالاتربة او نقيا	٣٤°	حصا رطب	١٨٦٠	٢٥°
تراب طمي جاف	١٥٠٠	من ٤٠ الى ٤٦°	زلط رطب	١٦٠٠	من ٣٥ الى ٤٠°
تراب طمي رطب	١٩٠٠	من ٢٠ الى ٢٥°	ماء	١٠٠٠	..

وهاك جدولا آخر يشتمل على ثقل المتر المكعب من البناء بالنسبة للمواد المختلفة ونهاية الحمل الذي يتحمله مع الامن على السنتيمتر المربع

انواع البناء	ثقل المتر المكعب بالكيلوجرام (من)	(الى)	نهاية الحمل على السنتيمتر المربع بالكيلوجرام (من)	(الى)	انواع البنا	ثقل المتر المكعب بالكيلوجرام (من)	(الى)	نهاية الحمل على السنتيمتر المربع بالكيلوجرام (من)	(الى)
بنا من حجر الآلة الجيد	٢٤٠٠	٢٧٠٠	٣٠	٤٠	خراسانة بمونة بالاسمنت	٢٣٠٠	٢٤٠٠	١٠	١٤
بنا بالدبش الجيد وبمونة جيدة	٢١٠٠	٢٢٥٠	١٤	٢٠	بنا بالطوب بمونة معتادة	١٧٠٠	١٨٠٠		٦
بنا معتاد بالدبش	٢٠٠٠	٢٣٥٠	٧		بنا بالطوب بمونة بالأسمنت	١٧٠٠	١٨٠٠		١٠
خراسانة بمونة معتاده	٢٣٠٠	٢٤٠٠	٥		بنا بالطوب من الدرجة الأولى والاسمنت	١٧٠٠	١٨٠٠	١٢	١٤

وأما معاملات الاحتكاك بالنسبة للاساسات المختلفة فهي كالآتي

٠ر٦٠ ١٠١

٦٠ د. اذا كان الأساس ارضا طبيعية

٧٠ د. اذا كان الأساس خرسانة

٧٨ د. اذا كان الأساس تحجيرا اى بناء بالدبش

فى الحيطان الساندة للمياه

اذا كان ارتفاع المياه المطلوب سندها هو (شكل ٨١) واعتبرنا طول الحائط مساويا للوحدة الطولية أى مساويا مترا واحدا وفرضنا أن وجهيها رأسيان ورمزنا لسمكها بالرمز س ولدفع الماء بالرمز ك ولثقل الحائط بالرمز د وفرضنا أن نقطة تأثير المحصلة ر للقوتين ك، د هى و فيلزم ان يكون عزم ك بالنسبة لنقطة و مساويا الى عزم د بالنسبة للنقطة المذكورة أعنى يكون

ش ٨١

$$ع_{ك} = ع_{د} \quad \ldots\ldots \quad (و)$$

لكن من المعلوم أن فى مثل هذه الحالة تكون ك أفقية ومؤثرة فى ثلث ارتفاع الحائط من أسفل ومقدارها هو

$$ك = ١٠٠٠ \times \frac{هـ^{٢}}{٢}$$

واذا رمزنا لثقل المتر المكعب من البنا بالرمز ے يكون

$$د = ے\, س\, هـ$$

وحينئذ المعادله (و) تؤول الى

$$١٠٠٠ \times \frac{هـ^{٢}}{٢} \times \frac{هـ}{٣} = ے\, س\, هـ \times ص \qquad \text{أو}$$

$$\frac{١٠٠٠}{٦} \times هـ^{٣} = ے\, هـ\, س \times ص \quad \ldots\ldots \quad (ب)$$

ولكن من الشكل

$$ص = \frac{س}{٢} - ء \quad \ldots\ldots \quad (حـ)$$

وحيث انه يلزم لحصول الثبات الجيد أن اتجاه المحصلة ر يقطع القاعدة فى نقطة متباعدة عن الحرف ح الذى تميل الحائط للدوران حوله بتأثير دفع المياه ببعد اكثر من ثلث عرض الحائط أى اكثر من ثلث س فيلزم استعمال معادلة

$$م = \frac{٢د}{س} \left(٢ - \frac{٣ء}{س}\right)$$

التى فيها م رمز لمعامل مقاومة البناء ومنها يحدث

$$ء = \frac{س}{٦} \left(\frac{٤ ے\, هـ - م}{ے\, هـ}\right)$$

واذا وضع عوضاً عن ى مقدارها فى معادلة (ح) يحدث

$$\text{ص} = \frac{\text{ث}}{٦} \times \frac{\text{م} - \text{ح هـ}}{\text{ح هـ}}$$

واذا وضع عوضاً عن ص مقدارها فى معادلة (ا) يحدث

$$\frac{١٠٠٠}{٦} \times \text{هـ}^{٣} = \frac{\text{ث}^{٢}}{٦} (\text{م} - \text{ح هـ})$$ ومنها يحدث

$$\text{س} = \text{هـ} \sqrt{\frac{١٠٠٠\ \text{هـ}}{\text{م} - \text{ح هـ}}} \qquad (٢)$$

وهذا القانون يمكن استنتاجه مباشرة من قانون (٢) الخاص بالحيطان السائدة للاتربة بجعل $\frac{\text{ب}}{٢} = ٤٥^{\circ}$ ، ى = ١٠٠٠ كج

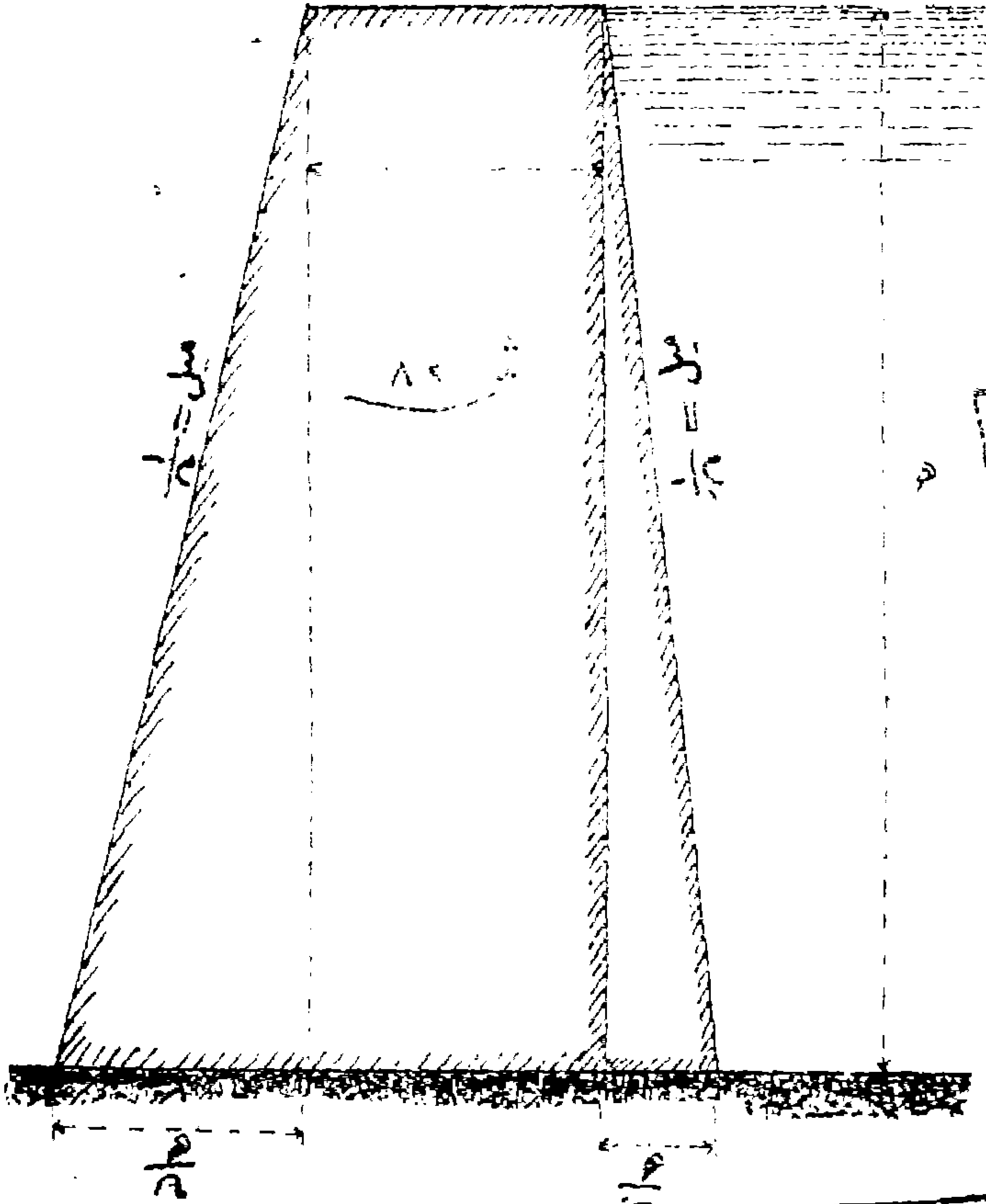
ويمكن تعيين سمك الحائط المذكورة بأن يؤخذ العزم بالنسبة الى نقطة ح ويساوى عزم ثقل الحائط بضعف عزم دفع المياه ى كما أجرى ذلك فى الحيطان السائدة للاتربة فيكون

$$٢ \times \frac{١٠٠٠}{٦}\ \text{هـ}^{٣} = \frac{\text{ح هـ}}{٢}\ \text{س}^{٢}$$ ومنها يحدث

$$\text{س}^{٢} = \text{هـ}^{٢} \times \frac{٢}{٣} \times \frac{١٠٠٠}{\text{ح}}$$ أو

$$\text{س} = \text{هـ} \sqrt{\frac{٢}{٣} \times \frac{١٠٠٠}{\text{ح}}} \qquad (١)$$

وهذا القانون يمكن استنتاجه مباشرة من قانون (١) الخاص بالحيطان السائدة للاتربة بجعل $\frac{\text{ب}}{٢} = ٤٥^{\circ}$ ، ى = ١٠٠٠ كج



فعلى هذا اذا كان وجها الحائط مائلين بميل $\frac{١}{\text{ن}}$ ، $\frac{١}{\text{ن}_١}$ شكل ٨٢ فأن السمك فى قمة الحائط يتعين من قانون (٣) بجعل $\frac{\text{ب}}{٢} = ٤٥^{\circ}$ ، ى = ١٠٠٠ كج هكذا

$$(٢) \cdots\ \text{س} = \text{هـ} \left[-\left(\frac{١}{\text{ن}} + \frac{١}{٢\text{ن}_١}\right) \pm \sqrt{\frac{٢ \times ١٠٠٠}{٣\ \text{ح}} + \frac{١}{٣\text{ن}^{٢}} - \frac{١}{١٢\text{ن}_١^{٢}}} \right]$$

فاذا كان الوجه الداخل رأسياً يكون $\frac{١}{\text{ن}_١} = ٠$ ويحدث

$$\text{س} = \text{هـ} \left[-\frac{١}{\text{ن}} \pm \sqrt{\frac{٢ \times ١٠٠٠}{٣\ \text{ح}} + \frac{١}{٣\text{ن}^{٢}}} \right] \cdots\cdots (٣)$$

واذا كان الوجه الخارج هو الرأسى فقط يكون $\frac{١}{\text{ن}} = ٠$ ويحدث

$$\text{س} = \text{هـ} \left[-\frac{١}{٢\text{ن}_١} \pm \sqrt{\frac{٢ \times ١٠٠٠}{٣\ \text{ح}} - \frac{١}{١٢\text{ن}_١^{٢}}} \right] \cdots\cdots (٤)$$

واذا كان الحائط مائلاً الى الداخل شكل ٨٣ فانه يكفى ان يجعل فى قانون (٩) ى = ١٠٠٠ كج ، $\frac{\text{ب}}{٢} = ٤٥^{\circ}$ ، ا = ٠

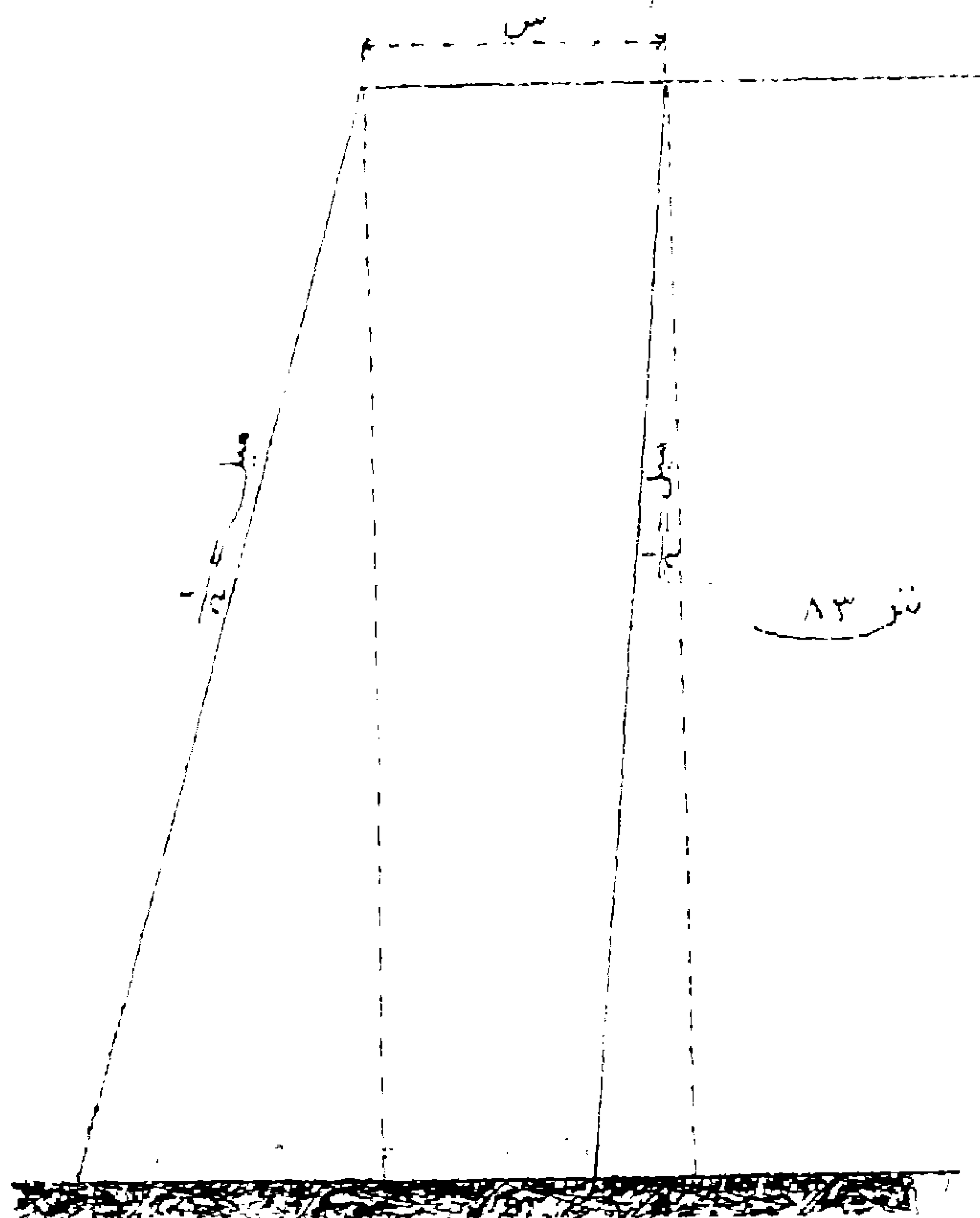
وحينئذ يكون

$$\text{س} = \text{هـ} \left[-\left(\frac{١}{\text{ن}} - \frac{١}{٢\text{ن}_١}\right) \pm \sqrt{\frac{١٠٠٠}{٣\ \text{ح}} + \frac{١}{٣\text{ن}^{٢}} - \frac{١}{١٢\text{ن}_١^{٢}}} \right] \cdots\cdots (٥)$$

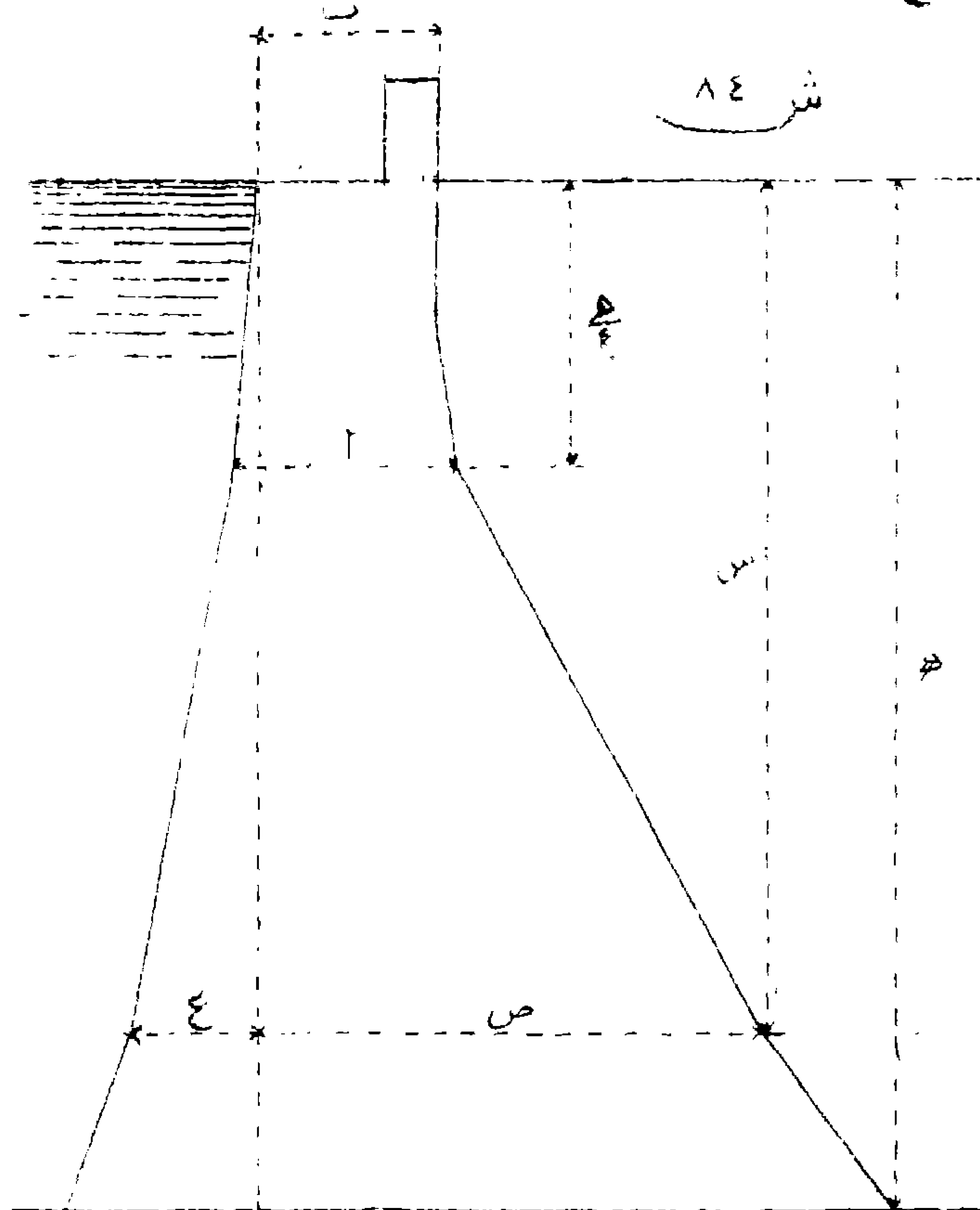
وبعد تعيين اسماك الحيطان من القوانين السابقة بحسب الأحوال المختلفة يمكن التحقق من مقاومتها للانقلاب بتعيين نقطة تأثير محصلة دفع المياه وثقل الحائط معاً على قاعدة الحائط اعنى نقطة

تقابل

تقابل المحصلة المذكورة بالقاعدة ومناقشة بعدها من نقطة الدوران ثم بعد ذلك يتحقق من مقاومة الحائط للتقلب باستعمال القوانين الخاصة بالصفحة ونعيين مقدار معامل المقاومة ومناقشته مع ملاحظة أن الضغط الرأسي الداخل في القوانين المذكورة هو المركبة الرأسية للمحصلة السابقة وأخيرا فيتحقق من المقاومة للانزلاق بضرب مقدار المركبة الرأسية المذكورة في معامل الاحتكاك ومقارنته بالمركبة الافقية للمحصلة السابقة أيضا



وتتميما لمسألة الحيطان البانية للمياه نضع هنا القوانين الخاصة بحساب أبعاد الحيطان المذكورة شكل ٨٤ فنرمز بالرمز هـ لارتفاع الحائط بالقدم وبالرمز س لانحطاط أى قطاع افقي عن سطح الماء بالقدم وبالرمز ص لتباعد طرف القطاع من الخارج عن الخط الرأسي بالنسبة للبعد س بالقدم وبالرمز ع لتباعد طرف القطاع من الداخل عن الخط الرأسي بالنسبة للبعد س بالقدم وبالرمز



ب لسمك الحائط في القمة بالقدم وبالرمز

أ لسمك الحائط على ربع الارتفاع من أعلى بالقدم وبالرمز

م لنهاية الضغط المسموح بالطولونات الانجليزية على القدم المربع وهي تساوى ٤٧٠ر١٠١٦ كج وحينئذ يكون

$$ب = ٠ر٤\ أ$$

$$ص = \sqrt{\frac{٠ر٠٥\ س^{٣}}{م + ٠ر٣\ س}}$$

$$ع = \left(\frac{٠ر٠٩\ س}{م}\right)^{٤}$$

وإذا كان مقدار ص المحصل من القانون اقل من ٦ ر٠ س فيلزم جعله مساويا الى ٦ ر٠ س اعنى أن ص = ٦ر٠ س في النهاية الصغرى ويلاحظ ان مقدار م يجعل عادة مساويا الى ٥ر٥ طونولاتة

فى المداخن

شكل مداخن الورش اى المداخن التى من الطوب قد يكون هرميا وغالبا يكون مخروطيا وعندما يكون هرميا اما أن يكون ذات اربعة أوجه متساوية أو ذا ثمانية أوجه متساوية ولانشاء اى مدخنة من هذا القبيل يقتضى ان يكون فتحة المدخنة من أعلى وارتفاعها معلومين وذلك بناء على الحسابات الخصوصية المتعلقة بقزانات الآلات البخارية وأما سمك المدخنة من أعلا فانه اما ان يكون ١١ر٠ متر أو ٢٢ر٠ متر أعنى بمقدار نصف طوبة أو طوبة كاملة اذا تقرر هذا فأن قطاع المدخنة على انحطاط ه من القمة شكل ٨٥ يتعين من القانون

شكل ٨٥

$$\text{لو}\ \frac{\text{ب}}{\text{ب}_1} = \frac{\text{ث ه}}{\text{م}} \quad \dots\dots (1)$$

الذى فيه ب رمز لقطاع القمة من الخارج ، ب رمز للقطاع الخارج على انحطاط ه من القمة ، لو رمز للوغاريتم النبرياتى ، ث رمز لثقل المتر المكعب من البنا ، م رمز لمعامل المقاومة مع ملاحظة أنه فى حالة ما تكون المدخنة مخروطية الشكل يكون

$$\left[\text{ب} = \frac{\text{ط}}{4}(\text{د}^2 - \text{د}_1^2) \text{ ، } \text{ب}_1 = \frac{\text{ط}}{4}(\text{د}'^2 - \text{د}'^2_1)\right] \quad \dots\dots (2)$$

$$\text{د}' = \text{د} + 2\,\text{ح}\,\text{ه} \quad \dots\dots (3)$$

وفى هذا القانون الأخير ح رمز للميل بالنسبة للمتر الواحد ومقدار هذا الميل يختلف فى المداخن من ٠١ر٠ متر الى ٠٣ر٠ متر بالنسبة للمتر الواحد والميل الأخير هو المستعمل بكثرة وقد تستعمل طريقة خصوصية فى المداخن بدلا عن الحساب وهى

أنه بعد تعيين السطح الخارج للمدخنة بناء على الارتفاع المعلوم والميل بالنسبة للمتر الواحد يجرى ازدياد السمك دفعة واحدة بالابتداء من القمة بقصص قدر كل منها ١١ر٠ متر أى نصف طوبة وذلك على مسافة كل ٣ متر أو ٤ متر أعنى اذا كان سمك المدخنة فى القمة ١١ر٠ متر يكون هذا السمك مستمرا على مسافة ٠٠ر٣ متر أو ٠٠ر٤ متر وبعد ذلك يضاف اليه ١١ر٠ متر فيكون ٢٢ر٠ متر ويستمر هذا السمك أيضا فى المسافة التالية التى قدرها ٣ متر أو ٤ متر وهكذا لغاية المسافة الأخيرة من اسفل

وأما فى حالة ما يراد حساب المدخنة بقانون (١) فأنه يلزم تحويل اللوغاريتم النبرياتى الى لوغاريتم معتاد وحينئذ فالمعادلة المذكورة تؤول الى

$$2{,}30258\ \text{لو}\ \frac{\text{ب}}{\text{ب}_1} = \frac{\text{ث ه}}{\text{م}} \quad \text{أو}$$

$$\text{لو}\ \frac{\text{ب}}{\text{ب}_1} = \frac{\text{ث ه}}{\text{م}} \times \frac{1}{2{,}30258} = 0{,}4342945 \times \frac{\text{ث ه}}{\text{م}} \quad \dots\dots (4)$$

فى حساب

فى حساب مدخنة من الطوب

الحساب الذى سيجرى عمله يمكن تطبيقه على جميع المبانى المشابهة للمداخن مثل الأبراج والفنارات وخلافه وسنمثل لذلك بمثال فنقول

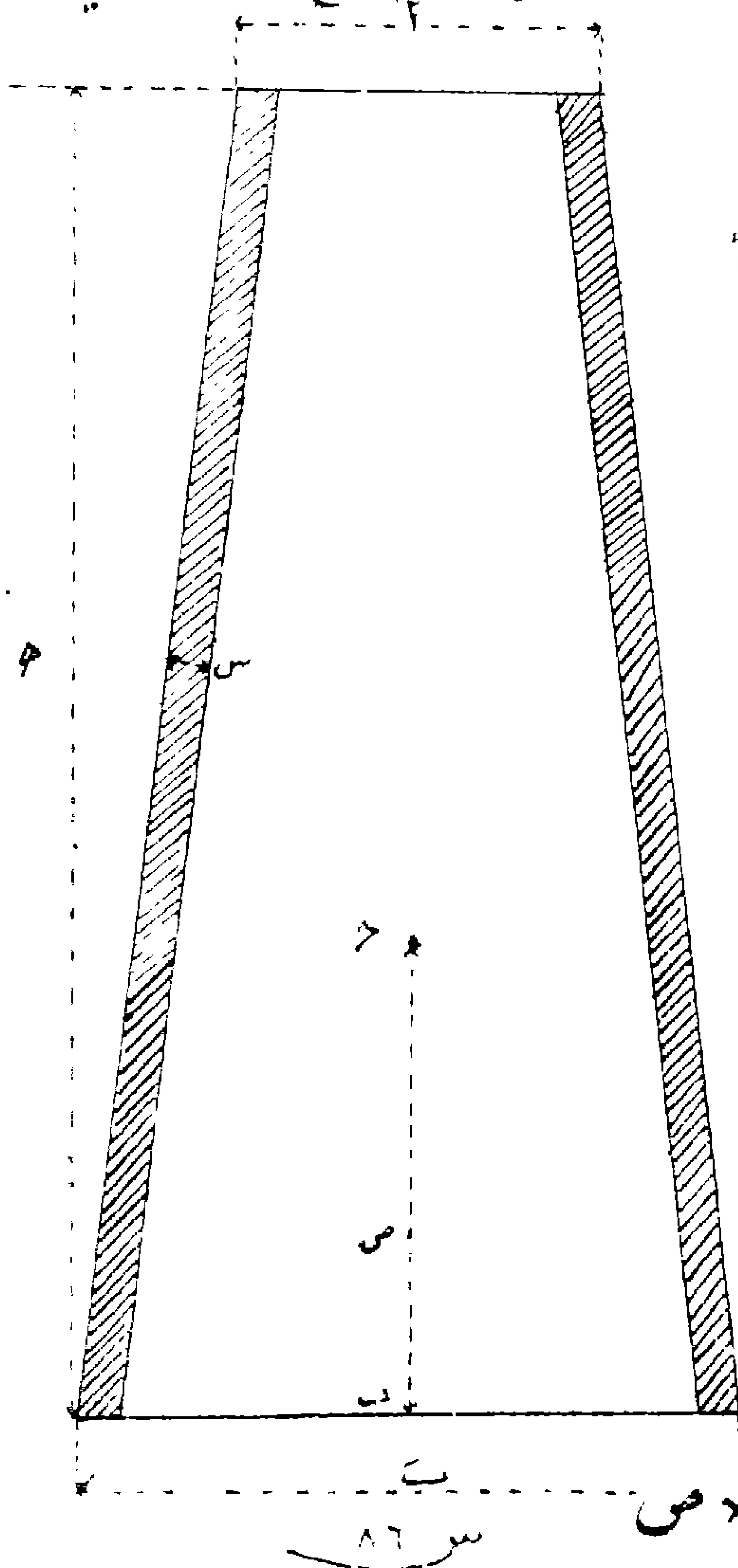
مثال — نفرض أن الارتفاع ه للمدخنة من ابتداء سطح الأرض الى القمة يساوى اربعين مترا وأن القطر الداخل للمدخنة من أعلا يساوى ١٫٥ مترا وأن المدخنة المذكورة تتركب من خمسة أجزاء كل منها له سمك منتظم من الطوب فى جميع ارتفاعه مع ملاحظة ان هذا السمك يختلف بالنسبة لكل جزء من الأجزاء المذكورة

حساب الجزء الأول — نفرض ان ارتفاع الجزء الأول بالابتداء من القمة يساوى ١٥ متر وأن سمكه الثابت ٢٢ر٠ متر ويعتبر الميل بالنسبة للمتر الواحد مساويا ٠٣ر٠ متر ثم يقال

أن الجزء المذكور يمكن اعتباره كجسم متأثر بضغط الرياح وبثقله الخاص وحينئذ تكون المقاومة بالنسبة للوحدة السطحية للأجزاء الاكثر تأثيرا من قاعدة الجزء المفروض معينة من القانون العمومى الآتى وهو

$$\text{م} = \frac{\text{ع ء}}{\text{ل}} + \frac{\text{ه}}{\text{ب}} \quad \ldots\ldots \quad (٥)$$

الذى فيه ع رمز لعزم الانحناء المنسوب لضغط الهواء ، ب شكل ٨٦ رمز للقطاع الاكثر تأثيرا ، ء رمز لبعد مركز ثقل القطاع المذكور عن الجزء الاكثر تأثيرا ، ل رمز لعزم قصور القطاع المذكور ، ه رمز لثقل الجزء المفروض من المدخنة فالقطاع ب دائرة قطرها ٨٤٠ر٢ متر = ٤٠ر١ + ٤٤٠ر٠ وأما ء فانه = ٤٢٠ر١ متر وحينئذ اذا رمزنا للضغط الواقع من الهواء على المتر المربع بالرمز ق وكان مقدار الضغط المذكور مساويا الى ٨٥ كيلوجرام فيكون



$$\text{ق} = ٨٥ \ \text{كيلوجرام}$$

ولكن حيث ان ضغط الهواء واقع على شبه منحرف ارتفاعه ه = ١٥ متر وقاعدتاه المتوازيتان مساويتان على التناظر الى ٢ = ٩٤٠ر١ متر ، ب = ٨٤٠ر٢ متر فيكون مقدار الضغط المذكور هو

$$\text{ق} \times \text{ه} \times \frac{٢ + \text{ب}}{٢}$$

وحيث أن هذا الضغط واقع فى مركز الثقل ح لشبه المنحرف المذكور فاذا رمزنا لبعد مركز الثقل المذكور عن القاعدة ب بالرمز ص يكون

$$\text{ع} = \text{ق ه} \times \frac{٢ + \text{ب}}{٢} \times \text{ص}$$

ولكن $\text{ص} = \frac{\text{هـ}}{٣(\text{ت}+\text{أ})}(\text{تَ} + ٢\text{أَ})$ حينئذ يكون

$\text{ع} = \text{قَ هـ} \times \frac{\text{أ}+\text{ت}}{٢} \times \frac{\text{هـ}}{٣(\text{ت}+\text{أ})}(\text{تَ} + ٢\text{أَ})$ أو

$\text{ع} = \frac{\text{قَ هـ}^{٢}(\text{تَ} + ٢\text{أَ})}{٦} = ٢١٤٤٧,٠٠$

وكذا $\text{ء} = \frac{\text{تَ}}{٢}$ كما سبق أي $\text{ء} = ١,٤٤٠$ م

$\text{ــه} = \frac{\text{ط}}{٤}\left[\frac{\text{تَ}^{٤}}{٦} - \frac{(\text{تَ} - ٢\text{س})^{٤}}{١٦}\right] = ١,٥٦٤٧٢٨$ م

$\text{ب} = \text{ط}\left[\frac{\text{تَ}^{٢}}{٤} - \frac{(\text{تَ} - ٢\text{س})^{٢}}{٤}\right] = ١,٨١٨١٨$ م

(٢) $\frac{\text{ن}}{\text{ث}} = \frac{١}{٢}\text{ط هـ}\left(\frac{\text{تَ}^{٢}}{٤} + \frac{\text{أَ}^{٢}}{٤} + \frac{\text{أَتَ}}{٤}\right) - \frac{١}{٣}\text{ط هـ}\left[\frac{(\text{تَ} - ٢\text{س})^{٢}}{٤} + \frac{(\text{أَ} - ٢\text{س})^{٢}}{٤} + \frac{(\text{تَ} - ٢\text{س})(\text{أَ} - ٢\text{س})}{٤}\right]$

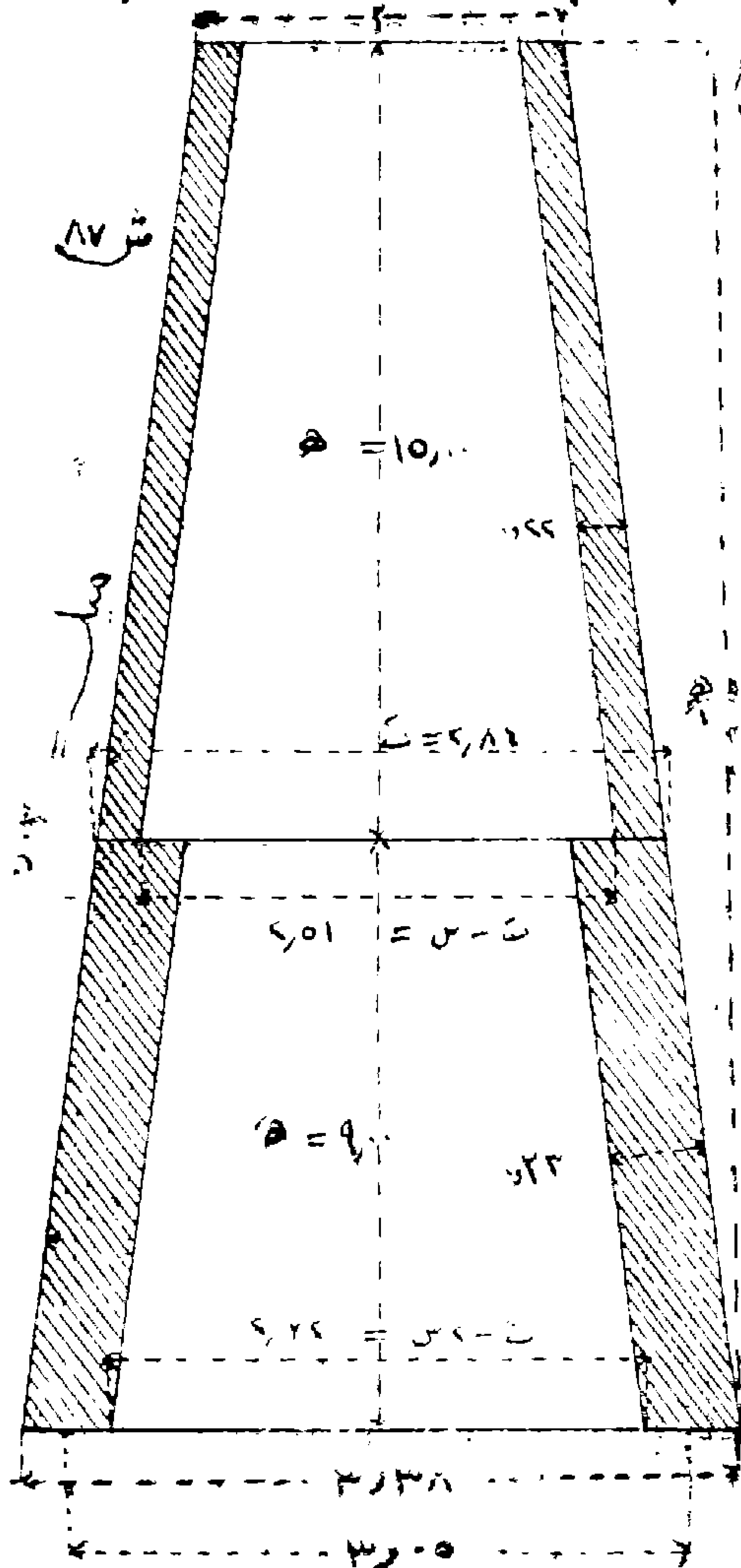
ومن هذه المعادلة $\text{ن} = ٣١٤٩٥,٧٩٦٦٤$ كيلوجرام،

وفي هذه الثلاث معادلات الأخيرة س ومن سمك بناء الجزء المفروض من المدخنة ويستخرج مقدار ثقل الجزء المفروض ن من المعادلة الثالثة وقد يمكن استخراج مقدار ن بتقريب كاف من المعادلة

$\text{ن} = \text{ط} \times \frac{(\text{تَ} - \text{س}) + (\text{أَ} - \text{س})}{٢} \times \text{هـ س ث} = ٣١٤٩٥,٧٩٦٦٤$ كيلوجرام

على اعتبار أن الجزء المفروض للمدخنة كأسطوانة مجوفة سمكها س وقطرها مساو للمتوسط العددي بين القطرين المتوسطين العلوي والسفلي للقاعدتين المتوازيتين

وبإجراء الحساب على هذا الاعتبار وملاحظة ان ثقل المتر المكعب من البناء بالطوب يساوي ١٤٠٠ كج



اي أن ث = ١٤٠٠ كيلوجرام فإنه يكون مقدار م بالنسبة للمتر المربع هو

م = ٣٦٨٣١,٩٠ كيلوجرام

حساب الجزء الثاني ـ باعتبار الميل السابق عينه لسطح الخارج للمدخنة شكل ٨٧ وجعل ارتفاعه مساويا الى ٩,٠٠ متر وسمكه مساويا الى ٠,٣٣ متر واجراء الحساب بطريقة مشابهة لما سبق يكون

ع = ٥٩٤٤١,٦٠ ، ــه = ٣,٧١٩٨٨٠ ،

ب = ٣,١٦٠٦٠ ، ن = ٢٠٥٠٢,٦٧٨١٠ كيلوجرام

وحيث أن $\text{ء} = \frac{\text{تَ}}{٢} = \frac{٣,٣٨}{٢} = ١,٦٩$ فيكون

$\frac{\text{ع ء}}{\text{ــه}} = ٢٦٩١٤,٣٩$ وحيث أن

$\frac{\text{ن}}{\text{ب}} = ٢١٤٤٥,٢٥$ فيكون

$\text{م} = \frac{\text{ع ء}}{\text{ــه}} + \frac{\text{ن}}{\text{ب}} = ٤٨٣٥٩,٦٤$ كيلوجرام

بالنسبة للمتر المربع

ويجري الحساب على هذا المنوال من جزء الى آخر وحساب المقادير المتتابعة لكمية م مع الاعتناء بحساب مقدار ص الذي هو عبارة عن بعد مركز ثقل مجموع الاجزاء المعتبرة للمدخنة عن قاعدة الجزء الأخير

الجاري

الجارى فيه العمل الى أن تنتهى جميع اجزاء المدخنة ويقتضى ان لايتجاوز مقدار م بالنسبة لقاعدة كل جزء جارى فيه العمل الحد النهائى المستعمل للمقاومة مع الأمن ففى المداخن المبنية بالطوب يلزم أن لا يتجاوز مقدار م ستة كيلوجرام بالنسبة للسنتيمتر المربع

فاذا ظهر من الحساب أن مقدار م تجاوز هذا المقدار يلزم تغيير ميل السطح الخارج للجزء الأخير من المدخنة الجارى فيه العمل واعادة الحساب بالثانى

ومتى تغير ميل السطح الخارج لجزء المدخنة فأنه يلزم حساب مقدار ص بالبحث عن مركز ثقل الشكل المتكون من مجموع الأجزاء المفروضة للمدخنة

واذا لم تستعمل الطريقة المذكورة المؤسسة على استعمال قانون (٥) فأنه يمكن حساب القطاعات المتتابعة باستعمال قوانين (٢)، (٣)، (٤) وحينئذ باعتبار معاليم الجزء الأول من المدخنة فى القوانين المذكورة يحدث

ى = ٢ر٤٠ متر = ت - ٢س ،

ب = ١ر٦٨٧٠ ، ى = ١ر٨٢ متر = ت تقريبا

ويمكن حساب القطاعات المتتالية المخطة عن القطاع العلوى للمدخنة بابعاد معلومة بالطريقة الآتية وهى

أن يعين مقدار الضغط الكلى الافقى للهواء على القطاع الأصلى المار بمحور المدخنة ونقطة تأثيره فى القطاع المذكور ثم يعين مقدار ثقل الجزء المعتبر من المدخنة وبعد ذلك يعين اتجاه محصلة هذا الثقل والضغط الكلى للهواء السابق ذكره ونقطة تأثيرها على القاعدة فأن كان بعد نقطة التأثير المذكور عن نقطة الدوران مساويا لثلث طول القاعدة أو اكثر كان عدم الانقلاب محققا وزيادة وحينئذ فيحقق من المقاومة للتفتت فى نقطة الدوران باستعمال القانون

م = $\frac{٢ق}{ل}\left(٢ - \frac{٣ى}{ل}\right)$

الذى يحسب منه مقدار م بالنسبة للمتر المربع

فاذا كان مقدار م المذكور أصغر أو مساويا لضغط الأمن بالنسبة للوحدة السطحية كان بها والا فيلزم تغيير مقدار طول القاعدة واعادة الحساب بالثانى

واما ان كان بعد نقطة تأثير المحصلة المذكورة عن نقطة الدوران أقل من ثلث طول القاعدة بأن كان قريبا من الربع فيكون عدم الانقلاب محققا ايضا ويقتضى التحقق من المقاومة للتفتت فى نقطة الدوران المذكورة باستعمال القانون

م = $\frac{٢ق}{٣ى}$

وأما ان كان بعد نقطة تأثير المحصلة المذكورة عن نقطة الدوران أقل من ثلث طول القاعدة بكثير فيقتضى تغيير طول القاعدة المذكورة واعادة الحساب بالثانى

وبتطبيق هذه الطريقة على حساب الجزء الأول من المدخنة السابق ذكره الذى فيه

أَ = ط ل = ١٫٩٤ متر ، ت = ا ب = ٢٫٨٤ متر ،

هـ = ى ن = ١٥٫٠٠ متر وسمك البناء فى الجزء المذكور وهو

س = ٠٫٢٢ متر وضغط الهواء على المتر المربع وهو

ك = ٨٥ كيلوجرام يكون

$$ح ن = ص = \frac{هـ}{٣ (أ + ت)} (ت + ٢ أ) = ٧٫٠٣ متر$$

واذا رمز للضغط الكلى للهواء على القطاع الأصلى بالرمز ك شكل ٨٨ يكون

$$ك = ك \times هـ \frac{أ + ت}{٢} = ٣٠٤٧٫٥ كيلوجرام$$ أو

٣٠٤٧ كيلوجرام وكان ن = ٣١٤٩٦ كيلوجرام

لحينئذ يكون

ن و : ف ر :: ح ن : ح ف ومنه يحدث

$$ن و = \frac{ك \times ص}{ن} = ٠٫٦٨ متر$$

وحيث ان مقدار ن و فى هذه الحالة قريب من ربع طول القاعدة فيتحقق من المقاومة للتفتت فى نقطة الدوران بحساب مقدار م من المعادلة

$$م = \frac{٢ ن}{٣ ى}$$

التى فيها ى = و ب = ٠٫٧٤ متر فيحدث

$$م = \frac{٢}{٣} \times \frac{٣١٤٩٦}{٠٫٧٤} = ٢٨٣٧٤٫٧٧ كيلوجرام$$ بالنسبة للمتر المربع

ويفهم من ذلك ان ابعاد الجزء الأول المفروض من المدخنة موافقة للانقلاب وللتفتت وقس على هذا

ديناميكا تطبيقية

الديناميكا التطبيقية هى التطبيق العملى لعلم الديناميك

القوى الانسانية والحيوانية والقوى

المتولدة بالآلات على حسب قاعدة الشغل

وحدة الشغل — الشغل اللازم لرفع ثقل قدره كيلوجرام واحد الى ارتفاع متر واحد يسمى وحدة شغل ويلفظ به كيلوجرام متر فاذا أخذ رجل ثقل كيلوجرام واحد ورفعه بيده الى متر واحد فقد أحدث وحدة شغل

وحينئذ واحد كيلوجرام مرفوعا الى عشرة أمتار يكون عبارة عن عشرة وحدات شغل
وعشرة كيلوجرام مرفوعة الى متر واحد يكون عبارة عن عشرة وحدات شغل
وخمسة كيلوجرام مرفوعة الى مترين يكون عبارة عن عشرة وحدات شغل
واثنين كيلوجرام مرفوعة الى خمسة امتار يكون عبارة عن عشرة وحدات شغل

تمرينات

تمرين أول - س - ماهى وحدات الشغل اللازمة لرفع ١٠ كجم الى ارتفاع ٣٠ متر

ج - وحدات الشغل = ١٠ × ٣٠ = ٣٠٠

تمرين ثانى - س - ماهى وحدات الشغل اللازمة لرفع مندالة أى ماشوله وزنها ٥٠٠ كجم على مسافة خمسة امتار من الارتفاع

ج - وحدات الشغل اللازمة = ٥٠٠ × ٥ = ٢٥٠٠

تمرين ثالث - س - ماهى وحدات الشغل الناتجة عن رجل ثقله ٦٠ كجم يصعد على ارتفاع قدره ٦ر٠٠ متر

ج - وحدات الشغل = ٦٠ × ٦ = ٣٦٠ أعنى اذا وضع هذا الرجل فى مقطف اثناء نزوله فانه يحمل ٣٦٠ وحدات شغل على أى شيئ آخر متصل به

تمرين رابع - س - ماهى وحدات الشغل اللازمة لرفع ٨٠٠٠ متر مكعب ماء لارتفاع ٦ر٠٠ متر

ج - ثقل المتر المكعب من الماء = ١٠٠٠ كجم وعليه فوحدات الشغل اللازمة = ٨٠٠٠ × ١٠٠٠ × ٦ = ٤٨٠٠٠٠٠٠

تمرين خامس - س - ماهى وحدات شغل حصان فى الثانية بفرض سيره ٤ كيلومتر فى الساعة وأنه يرفع ٧٠ كجم من بئر بواسطة حبل على بكرة ثابتة بصرف النظر عن الاحتكاك

ج - سير الحصان فى الثانية = $\frac{٤٠٠٠}{٦٠ \times ٦٠}$ = ١ر١١١ متر وعليه فوحدات الشغل فى الثانية يساوى ٧٠ × ١ر١١١ = ٧٧ر٨٠

شغل الحصان البخارى - المعتبر للآن أن الحصان البخارى يمكنه رفع ٧٥ كجم الى ارتفاع متر واحد فى الثانية وعلى ذلك يكون شغل الحصان البخارى مساويا ٧٥ وحدات شغل فى الثانية اى ٧٥ كيلوجرام متر فى الثانية

تمرين سادس - س - اذا كانت آلة بخارية يلزم أن ترفع ٨٠ متر مكعب ماء فى ساعة واحدة من بحر أوطى عن محل الرفع بقدر ١٢٠ متر فما يكون مقدار شغلها بالخيول البخارية أى قوتها بالخيول البخارية فى الثانية

ج - ثقل الماء اللازم رفعه = ٨٠ × ١٠٠٠ = ٨٠٠٠٠ كجم ووحدات الشغل فى الساعة يساوى ٨٠٠٠٠ × ١٢٠ = ٩٦٠٠٠٠٠ ووحدات الشغل فى الثانية = $\frac{٩٦٠٠٠٠٠}{٦٠ \times ٦٠}$ = $\frac{٨٠٠٠}{٣}$ وقوة الآلة بالحصان البخارى = $\frac{٨٠٠٠}{٣} \times \frac{١}{٧٥}$ = ٣٥ر٥٥ حصان بخارى

س - ماهو مقدار الفحم الحجرى الممكن رفعه بواسطة وابور قوة ٤ خيل من بئر عمقها ١٠٠ متر فى الساعة الواحدة

س - ماهو مقدار الامتار المكعبة من الماء الممكن رفعها فى الساعة بواسطة وابور قوة ٣٦ حصان من بحر مياهه منحطة ٨ متر عن محل الرفع

س - ماهى قوة الوابور الذى يرفع ٧٠٠٠ ك م فى الساعة من فحم حجرى موجود فى بئر واطى بمقدار ١٥٠ متر عن محل الرفع بفرض ½ شغل الوابور معدوم بالاحتكاك

تمرين سابع - س - المطلوب معرفة قوة الوابور اللازمة لاعطاء المياه لمدينة حلوان بفرض مدة الشغل ١٢ ساعة فى اليوم وعدد سكان المدينة ٤٠٠٠ نفر واللازم لكل نفر يوميا من الماء ١٥٠ر٠ متر مكعب والماء منحط عن محل الرفع ٦٠ متر

ج - الماء اللازم رفعه يوميا هو ٤٠٠٠ × ١٥ر٠ = ٦٠٠ متر مكعب ووزن الماء المرفوع فى الثانية بالوابور الدائر ١٢ ساعة يوميا = $\frac{٦٠٠ \times ١٠٠٠}{١٢ \times ٦٠ \times ٦٠}$ = ٨٩ ر ١٣ ك م

وحينئذ وحدات الشغل فى الثانية = ٨٩ر ١٣ × ٦٠ = ٤ر ٨٣٣ كيلوجرام متر

وعليه فقوة الوابور = $\frac{٨٣٣}{٧٥}$ = ١ر١١ حصان بخارى وهذا التقدير هو على حسب قاعدة الشغل العمومية بصرف النظر عن احتكاك الماء فى المواسير وغيره الموضح فى علم الايدروليك

س - ماهى قوة الوابور الذى يرفع ماء من ثلاث تسمويات انحطاطها عن محل الرفع على التناظر ٨٠ و ١٥٠ و ١٨٠ متر بشرط ان يرفع فى الدقيقة من التسموية الأولى ١ متر مكعب

ومن الثانية ½ " "

ومن الثالثة ١ " "

بفرض ان ثلث شغل الوابور معدوم بالاحتكاك

س - ماهى قوة الوابور اللازمة لادارة ٢٠ مرزبة ثقل كل منها ٢٠ ك م ترتفع وتنزل ١٠٠ مرة فى الدقيقة على مسافة ٦ر٠ متر

تمرين ثامن - س - وابور قوة ١٠ حصان يرفع ٢٠٠٠ ك م فحم حجرى من بئر عمقه ٣٠٠ متر فى الساعة ويدور أيضا مرزبة ترتفع وتنزل ٥٠ مرة فى الدقيقة على مسافة ٢٠ر٠ متر والمطلوب معرفة ثقل المرزبة المذكورة

ج - وحدات شغل الوابور فى الثانية = ١٠ × ٧٥ = ٧٥٠

ووحدات الشغل اللازمة لرفع الفحم فى الثانية = $\frac{٢٠٠٠ \times ٣٠٠}{٦٠ \times ٦٠}$ = ١٦٧ والفرق بين هذين المقدارين المساوى ٥٨٣ هو وحدات الشغل الذى يصنعه الوابور على المرزبة

ولنفرض أن س ثقل المرزبة يكون

وحدات الشغل اللازمة لرفع هذه المرزبة فى ثانية = $\frac{س \times ٢ \times ٥٠}{٦٠}$ أو $\frac{س \times ٣ \times ٢ \times ٥٠}{٦٠}$ = ٥٨٣ ومنه

س = ١٨ر٤٩٨م

س = ٨ر٣٤٩ر٣ كم وهو ثقل المرزبة

شغل الحيوانات ـ قوة الحيوانات تختلف على حسب انواع الشغل والسرعة والجدول الآتى يبين وحدات الشغل التى نتجت من التجارب التى عملت بأحد الشغالة الانكليزية فى الثانية الواحدة

رجل يرفع وزن نفسه (يصعد على سلم)	= ٩٤ر	وحدات شغل فى الثانية
رجل يجر او يشد افقى	= ٧ر	" " " "
رجل يجر او يشد رأسى	= ٥ر٣	" " " "
رجل يدور طارة	= ٥ر٧	" " " "
رجل يشتغل بيده ورجله كما فى المقداف	= ٩ر	" " " "

مقدار وحدات شغل النفر الذى يشتغل ٦ ساعات فى اليوم هو كالآتى

اذا رفع اشياء بواسطة بكرة	= ٥ر٣	وحدات شغل فى الثانية
اذا رفع اشياء بيده	= ٠ر٣	" " "
اذا رفع اشياء على ظهره ورجع فارغا	= ٥ر٠	" " "

مقدار وحدات شغل النفر الذى يشتغل ٨ ساعات فى اليوم كالآتى

اذا طلع اشياء من بئر عميق بواسطة ونش	= ٥ر٧	وحدات شغل فى الثانية
اذا طلع مياه بالبريمة	= ٠ر٣	" " "
اذا طلع مياه بالجردل والحبل	= ٤٠ر٠	" " "

مقدار وحدات شغل النفر الذى يشتغل ١٠ ساعات فى اليوم هو كالآتى

اذا دق بضربات اليد = ٦٠ر١ وحدات شغل فى الثانية

اذا رفع اتربة بالكريك على ٥ر١ متر من الارتفاع = ٠ر١ وحدات شغل فى الثانية

تنبيه ـ اذا اشتغل رجل بمفرده بالبريمة لطلوع المياه ٨ ساعات مستمرة فلا يمكنه ان يعطى وحدات شغل الا المقدار السابق ايضاحه

وأما اذا اشتغل فيها جملة اشخاص بالمناوبة كل منهم نصف ساعة فانها تعطى أزيد من المقدار السالف ذكره

الحصان الحقيقى يمكنه ان يعمل فى ثانية واحدة ٥٠ وحدات شغل

والبغل يمكنه ان يعمل فى ثانية واحدة ٣٧ وحدات شغل

والحمار الحقيقى يمكنه ان يعمل فى ثانية واحدة ١٠ وحدات شغل

وحصان الساقية يمكنه ان يعمل فى ثانية واحدة ٤٠ وحدات شغل والعشرة الباقية تعتبر فاقدة فى الاحتكاك

تمرين تاسع ـ س ـ ما مقدار الامتار المكعبة من الطين الممكن رفعها بعشرين نفرا على مسافة ٥ر١ متر

من الارتفاع في يوم قدره ١٠ ساعات اذا كان ثقل المتر المكعب الواحد من الطين = ١٦٠٠ كجم

ج - يؤخذ من الجدول السابق ان الرجل يعمل في الثانية ١ وحدة شغل فيكون شغل ٢٠ رجلا في يوم قدره ١٠ ساعات = ١ × ١٠ × ٦٠ × ٦٠ × ٢٠ = ٧٢٠٠٠٠ وحدات شغل

ووحدات الشغل اللازمة لرفع ١ متر مكعب طين على مسافة ١ر٥ متر من الارتفاع = ١٦٠٠ × ١ر٥ = ٢٤٠٠

وعليه فمقدار شغل العشرين رجلا من الامتار المكعبة = $\frac{٧٢٠٠٠٠}{٢٤٠٠}$ = ٣٠٠ متر مكعب طين

س - ما مقدار عدد الطوب الممكن رفعه بنفر واحد في يوم مقداره ٦ ساعات على ارتفاع ١٠ متر بفرض ان ثقل المتر المكعب من الطوب ٢٠٠٠ كجم وعدد الطوب الداخل في المتر المكعب ٦٠٠

تمرين عاشر - س - ما مقدار الامتار المكعبة من المياه الممكن رفعها بأحد الشغالة من بئر عمقه ٥ر٠ متر بواسطة الجردل والحبل في ٨ ساعات

ج - من الجدول السابق يرى ان وحدات شغل الرجل في الثانية من هذا النوع ٢ر٤ فيكون شغله ٨ ساعات = ٢ر٤ × ٨ × ٦٠ × ٦٠ = ٦٩١٢٠

والشغل اللازم لرفع ١ر٠٠ متر مكعب من الماء الى ارتفاع ٥ر٠ متر = ١ × ١٠٠٠ × ٥ = ٥٠٠٠

وعليه فمقدار ما يرفعه الرجل في ٨ ساعات من الامتار المكعبة = $\frac{٦٩١٢٠}{٥٠٠٠}$ ≈ ١٤ر٠٠ متر مكعب

س - ما هو مقدار الكيلوجرامات الفحم الحجري الممكن رفعها برجل واحد في ٨ ساعات من خندق عمقه ٦ر٠ متر بادارة طارة

تمرين حادي عشر - س - مندالة وزنها ٣٥٠ كجم وتقع على مسافة ٧ متر فما مقدار عدد مرات الدق بشغل اربعة رجال في ٨ ساعات بواسطة طارة

ج - شغل اربعة رجال في يوم قدره ٨ ساعات بحسب الجدول السابق = ٥ر٧ × ٨ × ٦٠ × ٦٠ × ٤ = ٦٥٦٦٤٠ وحدات شغل

ووحدات شغل دق المندالة في المرة الواحدة = ٣٥٠ × ٧ = ٢٤٥٠ وحدات شغل

وعلى ذلك يكون عدد مرات الدق بالمندالة في ٨ ساعات = $\frac{٦٥٦٦٤٠}{٢٤٥٠}$ = ٢٦٨ مرة

قوة شد الحيوانات تنقص مع زيادة السرعة والارتباط الكائن بين قوة الشد والسرعة موضح بالتقريب بالمعادلة الآتية

(١) ق = ١١١ − ١١ر٦ ك

بفرض ان ق = قوة الشد بالكيلوجرام ، ك = السرعة بالكيلومتر في الساعة

ومقدار ك يوافق سير الحصان متى كانت السرعة أقل من ٧ كيلومتر في الساعة

تنبيه - من المعلوم أن الخيل في جر البضاعة لا يمكنها ان تسير أزيد من ٧ كيلومتر في الساعة فاذا فرضنا في معادلة (١) ان السرعة = ٥ كيلومتر في الساعة فتكون قوة الشد ١١١ − ١١ر٦ × ٥ = ٥٣ كيلوجرام

واذا كان المسير = ٢ كيلومتر في الساعة تكون قوة الشد = ١١١ − ١١ر٦ × ٢ = ٨٨ كيلوجرام

فبالتأمل

فبالتأمل فى المعادلة السابقة نجد أن أحسن شغل فى اليوم للحصان هو متى كان سيره مساويا الى ٥ كيلومتر فى الساعة

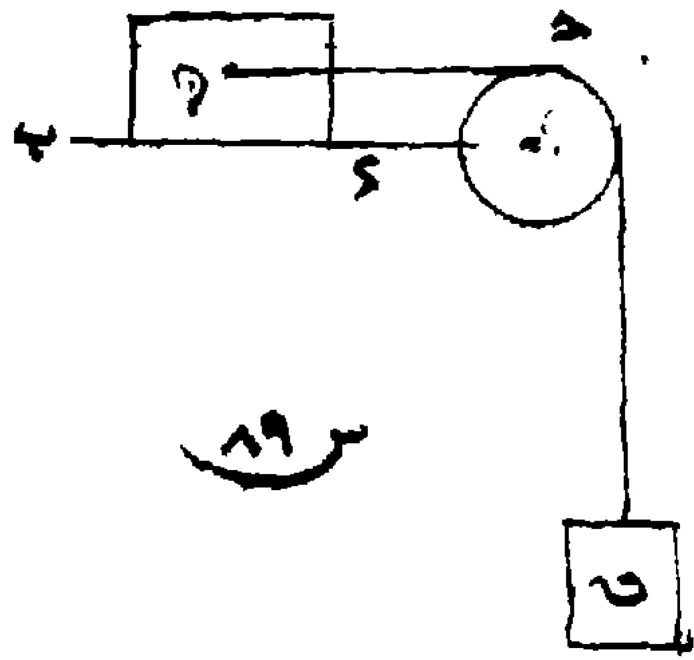
الأحتكاك :- اذا تحرك جسم ما على مستو افقى فالقوة المعطلة لسيره تسمى بقوة الاحتكاك ولا يخفى ان هذه القوة تقدر دائما بكسر من ثقل الجسم وان الأحتكاك غير متعلق بسرعة الجسم ولا باتساع سطح التماس

ومتى سارت عربة على طريق افقى مصنوع بالمكدام وكان معامل الاحتكاك = $\frac{1}{30}$ فأنه اذا شد حصان ١٥٠٠ كجم على هذا الطريق فقوة الاحتكاك = $\frac{1500}{30}$ = ٥٠ كيلوجرام

وبناء على معادلة واحد نجد أن

ق = ١١١ - ٦ر١١ع فاذا وضعنا بدل ق مقدارها المساوى ٥٠ كيلوجرام تكون السرعة ٥ر٥ كيلومتر فى الساعة

مقدار قوة الاحتكاك بعربات السكك الحديدية محصور بين $\frac{1}{200}$ ، $\frac{1}{250}$ من ثقل الجسم المشدود والمكسور $\frac{1}{30}$ فى طرق المكدام ، $\frac{1}{250}$ فى السكك الحديدية تسمى معامل الاحتكاك القوة المؤثرة على الطرق والسكك الحديدية وبوابات القناطر - اذا كان ع ثقل ما يشد على مستو افقى ب ء شكل ٨٩ بانتظام بواسطة ثقل آخر ق مرتبط بحبل مربوط بالثقل ع ومار على بكرة حـ



س ٨٩

فمقدار ق اللازم لتحرك الثقل ع = قوة الاحتكاك فاذا كان هذا المستوى هو سكة حديدية ما ع = ١٠٠٠٠٠ كجم حينئذ ق = $\frac{150000}{300}$ = ٥٠٠ كجم اذا كان معامل الاحتكاك $\frac{1}{300}$

ويظهر أنه اذا تقدم الثقل ع افقيا بأى مسافة ما فالثقل ق يقطع فى النزول مسافة مساوية لها فعلى ذلك تكون وحدات الشغل اللازمة لتحرك الثقل ع = الثقل ق بالكيلوجرام فى المسافة بالمتر التى يقطعها الثقل ع فى النزول

أعنى اذا كان ثقل ق = ٥٠٠ كجم ويقطع فى النزول ٤ متر فوحدات الشغل = ٥٠٠×٤ = ٢٠٠٠ وحدات شغل أو بمعنى آخر = قوة الاحتكاك فى المسافة = $\frac{150000}{300}$×٤ = ٢٠٠٠

شغل أى ماكينة يشتمل على الشغل الذى صار اجراءه اعنى انه يشتمل على الشغل النافع اى المفيد والغير النافع أعنى الشغل الظاهر والشغل العادم بسبب الاحتكاك

فعند تشغيل أى ماكينة يزداد شغلها عن المعتاد الى ان يحصل تساوى بين شغل الماكينة وشغل المقاومة وتنتظم حينئذ الحركة والقوة الزائدة تختزن فى الطارة أو فى اى محل يستعمل لخزن

مثلا فى السكك الحديدية - عند ما يبتدئ الوابور فى السير بالعربات فيزداد شغل الوابور عن شغل المقاومة وبسبب ذلك تزداد سرعة الوابور ويأتى بالتدريج زمن فيه شغل الوابور يساوى شغل المقاومة أو

شغل الاحتكاك وننتظم حركة سير الوابور

وهنا يكون شغل الوابور يساوى شغل المقاومة بالضبط

س – ما هى القوة المفيدة لوابور لوكوموتيف سائر بحركة منتظمة على سكة حديد افقية بفرض أنه يقطع ٤٠ كيلومتر فى الساعة وان ثقل الوابور وعرباته (اى القطار جميعه) = ١٠٠٠٠٠ كم والاحتكاك ١/٣٠٠

تمرين ثانى عشر – س – ماهى السرعة بالكيلومتر فى الساعة لوابور قوة ٧٠ حصان يقل عربات ووزن الجميع ٨٠٠٠٠ كم على سكة حديدية افقية ومعامل الاحتكاك ١/٣٠٠

ج – س = السرعة بالكيلومتر فى الساعة

والشغل الذى يجر العربات على مسافة س كيلومتر = ٨٠٠٠٠/٣٠٠ × س × ١٠٠٠ فى الساعة الواحدة

والشغل المحمول بالوابور فى الساعة = ٧٠ × ٧٥ × ٦٠ × ٦٠

وعن هذا يكون ٨٠٠٠٠/٣٠٠ × س × ١٠٠٠ = ٧٠ × ٧٥ × ٦٠ × ٦٠

ومنه س = ٧٠٫٨٧٥ فى الساعة

س – ماهو الزمن الذى يقطع فيه وابور لوكوموتيف قوة ٦٦ حصان يقل عربات مسافة ١٦٠ كيلومتر على سكة حديد افقية بفرض أن ثقل الوابور والعربات ٢٠٠٠٠٠ كم وان معامل الاحتكاك = ١/٣٠٠

س – ما مقدار الشغل فى الدقيقة لحصان يقل عربة على طريق بفرض انه يقطع ٤ كيلومتر فى الساعة

تمرين ثالث عشر – س – اذا كان الحصان الواحد يمكنه عمل ٧٥ وحدات شغل فى الثانية على طريق افقى فيه معامل الاحتكاك = ١/٢٠ فما يكون ثقل البضاعة الممكن نقلها ومقدار سرعته على هذا الطريق

ج – من المعادلة (١) نجد أن قوة الشد = (١١١ – ١١٫٦٠ ك) كيلوجرام

ومسافة سير الحصان فى الثانية = (١٠٠٠ × ك)/(٦٠ × ٦٠) = ٠٫٢٨ × ك

وعلى ذلك تكون قوة الحصان = (١١١ – ١١٫٦ × ك) × ٠٫٢٨ × ك = ٧٥ أعنى

٣١ ك – ٣٫٢٥ ك² = ٧٥ ومن هذه المتساوية ينتج ان

ل = ٤٫٧٥ كيلومتر فى الساعة

وقوة الحصان = ١١١ – ١١٫٦ ل = ١١١ – ١١٫٦ × ٤٫٧٥ = ٥٥٫٩ كيلوجرام

ونقل البضاعة الممكن جرها بالحصان = ٥٥٫٩ × ٢٠ = ١١١٨ كيلوجرام

س – ماهى سرعة الحصان عندما يجر ١٠٠٠ كم على سكة افقية فيها معامل الاحتكاك ١/١٠

تمرين رابع عشر – س – ماهى القوة اللازمة لوابور يمكنه نشر ٦٦٠ متر مربع من لوح خشب بلوط فى يوم قدره ١٠ ساعات متى علم من التجربة ان وحدات الشغل اللازمة لنشر المتر المربع من البلوط الخام هى ٤٠٠٠ وحدات شغل

ج – وحدات الشغل اللازمة لنشر ٦٦٠ متر مربع من لوح البلوط = ٦٦٠ × ٤٠٠٠ = ٢٦٤٠٠٠٠ وحدات شغل فى ١٠ ساعات ومنه وحدات الشغل فى الثانية = ٢٦٤٠٠٠٠/(١٠ × ٦٠ × ٦٠) وقوة الوابور = ٢٦٤٠٠٠٠/(١٠ × ٦٠ × ٦٠) × ١/٧٥ = ٢٠ حصان بخارى

س – المعلوم

س ـ المعلوم وابور قوته المفيدة ٢٤ حصان وبالتجربة علم انه ينشر ١٤ متر مربع من خشب البلوط الخام في خمس دقائق والمطلوب معرفة مقدار وحدات الشغل اللازمة لنطع متر مربع من البلوط

تمرين خامس عشر ـ س ـ بوابة قنطرة طولها ١٠ متر وارتفاعها ٤ متر وفرق توازن المياه عليها ٤ متر وهي من حديد والدروانذ من حديد ومعامل الاحتكاك = $\frac{١}{٢}$ (بالنسبة لاحتكاك الحديد على الحديد في الماء) فما هي القوة اللازمة لرفع هذه البوابة بفرض أن ثقل البوابة = ١٠٠٠٠ كيلوجرام

ج ـ ضغط الماء = ١٠ × ٤ × $\frac{٤}{٢}$ × ١٠٠٠ = ٨٠٠٠٠ كيلوجرام وهو ضغط الماء على البوابة والقوة المطلوبة = ثقل البوابة زائد قوة الاحتكاك أعني

١٠٠٠٠ + $\frac{٨٠٠٠٠}{٢}$ = ٥٠٠٠٠ كيلوجرام

س ـ اذا كانت البوابة لها درافيل ومعامل الاحتكاك $\frac{١}{٥}$ وباقي المعاليم كما في (التمرين خمسة عشر) فما مقدار القوة اللازمة لرفع هذه البوابة

ج ـ القوة المطلوبة = ١٠٠٠٠ + $\frac{٨٠٠٠٠}{٥}$ = ٢٦٠٠٠ كيلوجرام

س ـ اذا كانت البوابة السابق ذكرها لها درافيل اختراع استون الذي فيه معامل الاحتكاك = $\frac{١}{٨٠}$ فما هي القوة اللازمة لرفع البوابة المذكورة

ج ـ القوة المطلوبة = ١٠٠٠٠ + $\frac{٨٠٠٠٠}{٨٠}$ = ١١٠٠٠ كيلوجرام

س ـ اذا كانت البوابة السابق ذكرها لها درافيل وثقل اتزان فما هي القوة اللازمة لرفع البوابة المذكورة

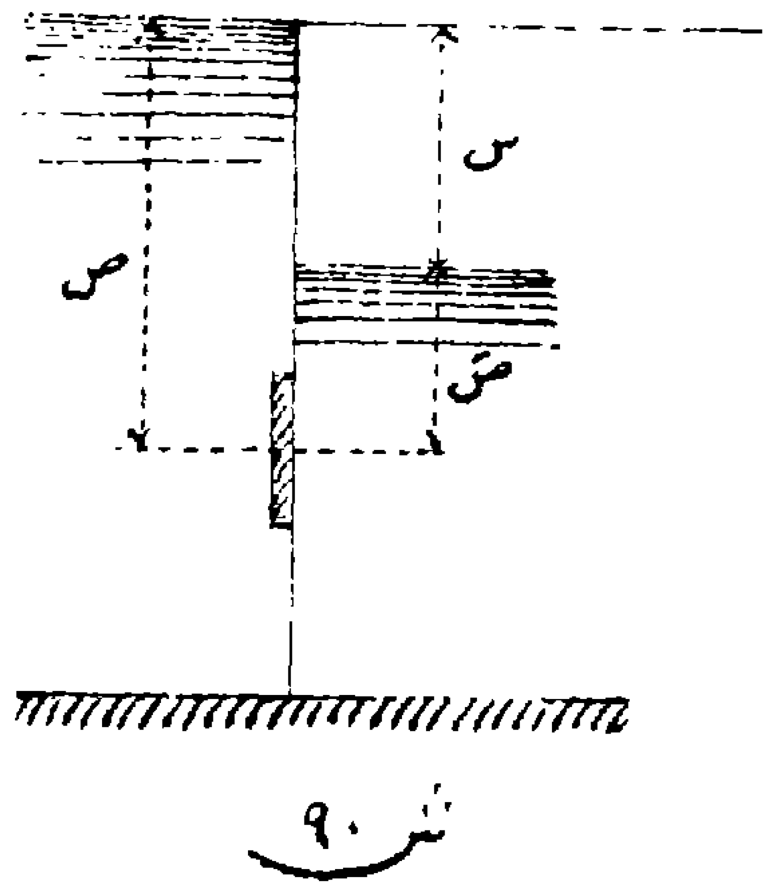
ج ـ حيث ان ثقل الاتزان متزن مع ثقل البوابة فتكون القوة المطلوبة = $\frac{٨٠٠٠٠}{٨٠}$ = ١٠٠٠ كيلوجرام

تمرين سادس عشر ـ س ـ ما هو اكبر مقدار فرق توازن المياه الأمامية عن الخلفية الذي فيه البوابة الموضحة بالتمرين خمسة عشر يمكن ان تنزل بثقل نفسها اذا كان معامل الاحتكاك كما في الثلاث حالات الآتيه

(١) معامل الاحتكاك = $\frac{١}{٢}$

(٢) معامل الاحتكاك = $\frac{١}{٥}$

(٣) معامل الاحتكاك = $\frac{١}{٨٠}$



ج ـ بفرض ان س شكل ٩٠ هو فرق التوازن

وبما ان ثقل البوابة = ١٠٠٠٠ كيلوجرام يكون

(١) ١٠٠٠٠ = $\frac{١٠ × ٤ × ١٠٠٠ × س}{٢}$ ومنه

س = ٠٫٥٠ متر

(٢) ١٠٠٠٠ = $\frac{١٠ × ٤ × ١٠٠٠ × س}{٥}$ ومنه

س = ١٫٢٥ متر

(٣) ١٠٠٠٠ = $\frac{١٠ × ٤ × ١٠٠٠ × س}{٨٠}$ ومنه

س = ٢٠٫٠٠ متر

المستوى المائل

وحدات شغل جر جسم على سطح مستوى مائل يساوى ثقل هذا الجسم بالكيلوجرام فى الارتفاع الرأسى للمستوى بالمتر بصرف النظر عن الاحتكاك

وصعود جسم على المستوى المائل ب ء وح ء كما فى شكل ٩١ كطلوعه على درجات السلم ب ح ا ح ء ، ء هـ ا هـ و ا و ز ا ز ح ، ح ى ، ى ء وبالنسبة لصرف النظر عن الاحتكاك لا يكون هناك شغل للجر الأفقى بل كل الشغل هو للرفع الرأسى ووحدات الشغل اللازمة لطلوع هذا الجسم من ب الى ء مثل من م الى ء وهذه القاعدة مختصة بحسابات الجر على المستوى المائل

ش ٩١

تمرين سابع عشر – س – وابور لوكوموتيف بعربانة يزن ٢٠٠٠٠٠ كيلوجرام يسير على سكة حديدية على مستوى مائل فيه ارتفاع ٠٠٥ر٠ متر فى كل ١٠٠٠ متر بسرعة منتظمة قدرها ٥٠ كيلومتر فى الساعة فما هى القوة المفيدة للوابور اذا كان معامل الاحتكاك $= \frac{١}{٣٠٠}$

مع ملاحظة أن ثقل الأجسام الموجودة على المستويات التى ميلها ضعيف يقرب من الافق مثل ثقلها على الافق الا أن جيب تمام الزاوية الواقعة بين العمود على المستوى المائل والرأسى يساوى تقريبا واحدا وقوة الاحتكاك فى الميول الضعيفة كهذه تعتبر دائما مثل ما فى المستوى الافقى

ج – المسافة التى يقطعها الوابور فى الثانية $= \frac{٥٠٠٠٠}{٦٠ \times ٦٠} =$ ١٤ر متر

وارتفاع ميل السكة الحديدية فى مسافة ١٤ر متر $= ١٤ \times \frac{٥}{١٠٠٠} =$ ٠٧ر٠ متر

وعلى هذا يرتفع ثقل القطر فى كل ثانية ٠٧ر٠ متر ووحدات الشغل المقابلة لهذا الارتفاع فى الثانية يساوى ٢٠٠٠٠٠ × ٠٧ر٠ = ١٤٠٠٠ وحدات شغل فى الثانية وشغل الاحتكاك يساوى $\frac{٢٠٠٠٠٠}{٣٠٠} \times ١٤ =$ ٩٣٣٣ وحدات شغل فى الثانية

وعلى ذلك لجميع شغل الوابور فى الثانية = ١٤٠٠٠ + ٩٣٣٣ = ٢٣٣٣٣ وحدات شغل فى الثانية

وقوة الوابور بالحصان البخارى $= \frac{٢٣٣٣٣}{٧٥} =$ ١٠ر٣١١ حصان بخارى

تمرين ثامن عشر – س – وابور قوة ٥٠ حصان يسير صاعدا على سكة حديدية على مستو ميله ٠٠ر٣ متر فى كل ٤٠٠ متر بحركة منتظمة بسرعة ٣٠ كيلومتر فى الساعة ومعامل الاحتكاك $\frac{١}{٣٠٠}$ والمطلوب معرفة مقدار ثقل الوابور بعرباته بالكيلوجرام

ج – نرمز بالحرف س لثقل الوابور بعرباته بالكيلوجرام

والمسافة التى يقطعها الوابور فى الثانية $= \frac{٣٠٠٠٠}{٦٠ \times ٦٠} =$ ٣٠٠ر٨ متر

وشغل الاحتكاك فى الثانية $= \frac{س}{٣٠٠} \times \frac{٣٠٠٠٠}{٦٠ \times ٦٠} =$ ٠٢٨ر٠ س

وميل السكة الحديدية فى المتر الطولى $= \frac{٣}{٤٠٠}$

وميل السكة

وميل السكة المذكورة فى مسافة ٨٫٣ متر = ٨٫٣ × $\frac{٣}{٤٠٠}$ = ٠٫٠٦٢ متر
والشغل اللازم فى الثانية بالنسبة لهذا الارتفاع = س × ٠٫٠٦٢
وعلى ذلك يكون الشغل جميعه فى الثانية = ٠٫٠٢٨ س + ٠٫٠٦٢ س = ٠٫٠٩ س
لكن شغل الوابور فى الثانية = ٥٠ × ٧٥ = ٣٧٥٠
وعلى ذلك يكون ٠٫٠٩ × س = ٣٧٥٠ ومنه
س = ٤١٦٦٦ كيلوجرام وهو ثقل الوابور بعرباته

تمرين تاسع عشر – س – وابور بعرباته يزن ١٠٠٠٠٠ كيلوجرام يسير نازلا على سكة حديدية فى مستوى مائل ميله فى النزول $\frac{١}{٤٠٠}$ بسرعة منتظمة ١٠٠ كيلومتر فى الساعة ومعامل الاحتكاك = $\frac{١}{٣٠٠}$ والمطلوب معرفة قوة الوابور بالحصان البخارى

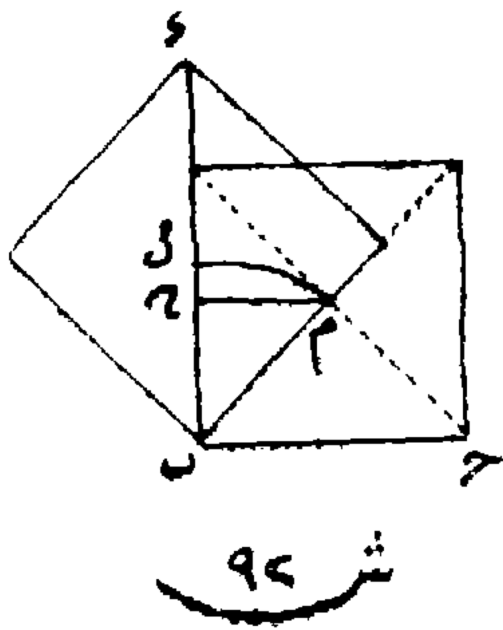
ج – المسافة التى يقطعها الوابور فى السير فى الثانية = $\frac{١٠٠ \times ١٠٠٠}{٦٠ \times ٦٠}$ = ٢٨ متر
وشغل الاحتكاك فى الثانية = $\frac{١٠٠٠٠٠}{٣٠٠}$ × ٢٨ = ٩٣٣٣ وحدات شغل
وارتفاع ميل المستوى فى مسافة ٢٨ متر = $\frac{٢٨}{٤٠٠}$ = ٠٫٠٧ وهو مقدار ما ينزله الوابور فى الثانيه
وحينئذ فالشغل المعمول بالثقل فى الثانية = ١٠٠٠٠٠ × ٠٫٠٧ = ٧٠٠٠ وبسبب أن الثقل يساعد الوابور على النزول يكون الشغل المطلوب من الوابور = ٩٣٣٣ − ٧٠٠٠ = ٢٣٣٣ وحدات شغل
وعليه فقوة الوابور بالحصان البخارى = $\frac{٢٣٣٣}{٧٥}$ = ٣١٫١ حصان بخارى

س – اذا كانت قوة حصان = ٦٠ كيلوجرام فما مقدار الثقل الذى يمكنه جره على سكة خشبية فيها معامل الاحتكاك $\frac{١}{٣٠}$ وميلها $\frac{١}{٦٠}$ فى الصعود

س – ماهى قوة الحصان اللازمة لسند وتوقيف عربية وزنها ٨٠٠ كيلوجرام حال سيرها نزولا على سكة ميلها $\frac{١}{٢٥}$ ومعامل الاحتكاك فيها $\frac{١}{٤٠}$

تعريف – الشغل اللازم لنقل أى جسم من محل الى محل آخر يقدر بحاصل ضرب ثقله فى البعد الكائن بين مركزى ثقله فى المحلين المذكورين

تمرين عشرين – س – مكعب من الجرانيت ضلعه = ٢٫٠٠ متر وثقل المتر المكعب من الجرانيت = ٢٦٢٠ كيلوجرام ماهو الشغل اللازم لقلبه على احد سطوحه بدورانه حول ب



شكل ٩٢

ج – المسافة بين مركز ثقل المكعب المذكور م ونقطة ب شكل ٩٢
تساوى $\frac{\sqrt{٢^2+٢^2}}{٢}$ = $\frac{\sqrt{٨}}{٢}$ = ١٫٤١٤ متر
والشغل اللازم لرفعه حتى ينقلب على السطح الآخر بنفسه هو كرفع مركز ثقله م من ه الى ل أعنى الشغل اللازم لقلب المكعب المذكور مثل رفع ثقله لمسافة رأسية ه ل
ه ل = ل ب − ه ب = ب م − ه ب = ١٫٤١٤ متر − ١٫٠٠ متر = ٠٫٤١٤ متر

ونقل المكعب المذكور = ٢ × ٢ × ٢ × ٢٦٢٠ = ٢٠٩٦٠ كيلوجرام

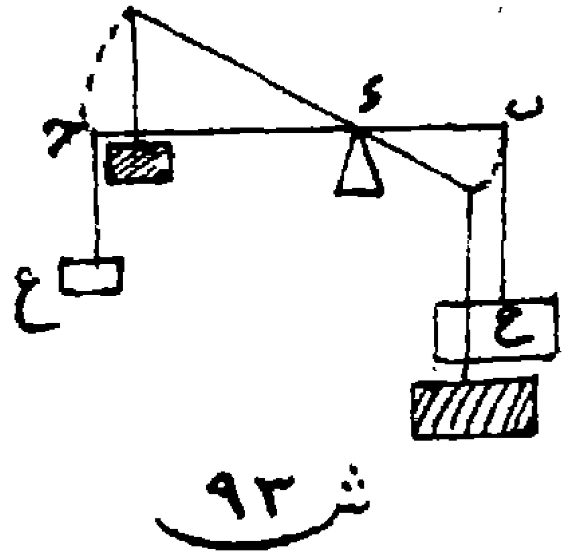
ووحدات الشغل اللازمة لرفع المكعب مسافة ٠,٤١٤ متر = ٢٠٩٦٠ × ٠,٤١٤ = ٨٦٧٧,٤٤ كيلوجرامتر

والشغل اللازم لقلب اى جسم هو مقاس ثباته

الرافعة

الآلات البسيطة يمكنها توزيع الشغل بانتظام وتغيير الاتجاه ولكن لا يمكنها ان تزيد قيمة الشغل

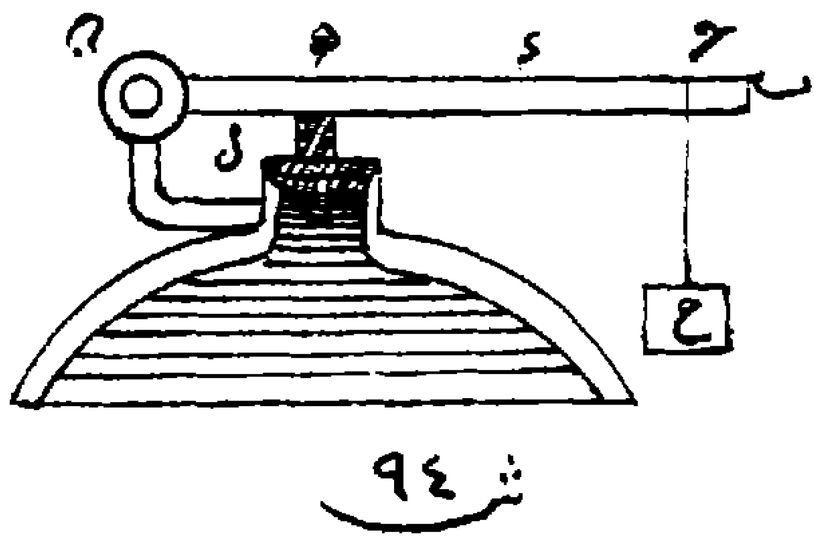
س - اذا كان فى الرافعة كما فى شكل ٩٣ حـ ء = ١,٠٠ متر ، ء ب = ٠,٢٠ متر والثقل ع = ٣ كيلوجرام فما مقدار الثقل ح



ش ٩٣

ومعلوم أنه اذا رفع ع خمسة أمتار فان ح ينزل ١,٠٠ را لأن حـ ء = ٥ امثال ء ب فعلى ذلك الشغل المعمول بالثقل ع = ٣ × ٥ والشغل المعمول بالثقل ح = ح × ١ أو ٣ × ٥ = ح × ١ ومنه ح = ١٥ كيلوجرام وهذه هى قاعدة الشغل المتبعة فى الرافعة فى رافعة صمام الامن لأى ماكينة

ولتكن ب ﻫ كما فى شكل ٩٤ رافعة نقطة ارتكازها ﻫ ، ل صمام الأمن والرافعة ﻫ ب موضوعة على العمود هـ ل للصمام ل والثقل ح يتحرك أفقيا على الرافعة والمطلوب اولا معرفة النقطة من الرافعة التى اذا وضع فيها الثقل ح يقابل أعظم ضغط للبخار بالأمن ثانيا معرفة مقدار الثقل ع اذا علم طول الرافعة



ش ٩٤

تمرين واحد وعشرين - س - طول الرافعة ب ﻫ = ٠,٨ متر والمسافة ﻫ ء = ٠,٠٤ متر وثقل الصمام أو البلف مع العمود = ٣ كيلوجرام وثقل الرافعة نفسها يساوى ٤ كيلوجرام وسطح قطاع الصمام = ٢٤ سنتيمتر مربع فما يكون مقدار الثقل ح الذى اذا وضع فى نهاية الرافعة يكون معادلا لضغط البخار الذى قوته ٣ كيلوجرام على السنتيمتر المربع علاوة عن ضغط الجو

ج - ضغط البخار على البلف = ٣ × ٢٤ = ٧٢ كيلوجرام

والضغط الصافى على الرافعة = ٧٢ - ٣ = ٦٩ كيلوجرام

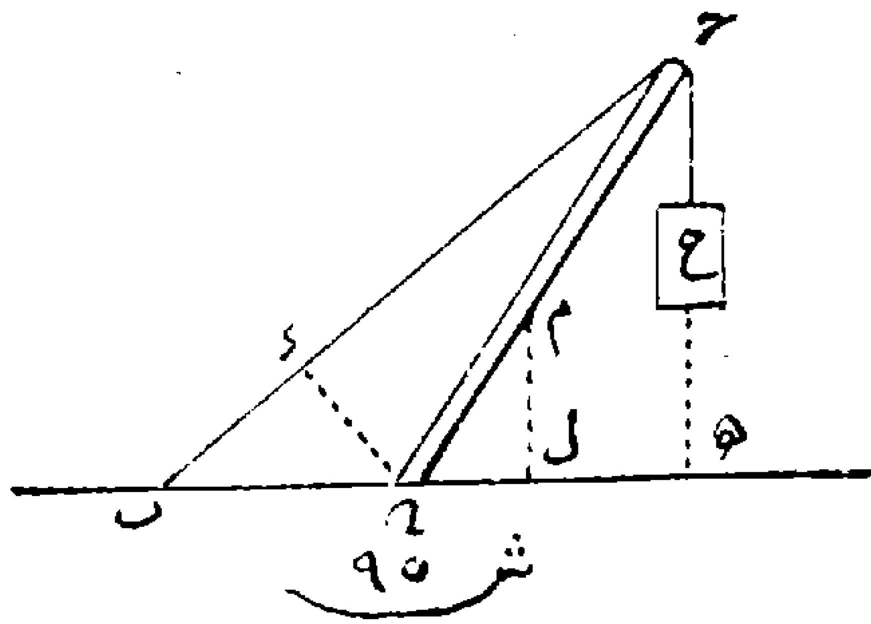
وبسبب ان ثقل الرافعة هو فى وسطها يكون

$$(ح \times ٢٨) + ٤ \times \frac{٢٨}{٢} = ٦٩ \times ٤ \quad أو$$

$$ح = \frac{٢٧٦ - ٥٦}{٢٨} = ٨ \text{ كيلوجرام}$$

تمرين اثنين وعشرين - س - اذا كان حبل ب حـ كما فى شكل ٩٥ شادا للعمود ﻫ حـ المرتكز على الأرض فى

فى نقطة ء وحاملا للثقل ح المعلق فى نقطة ح
والمطلوب معرفة مقدار شد الحبل حينما يكون



ب ح = ٥ر١٧ متر ، ء ب = ٠٠ر٤ متر ، ء ه = ٥ر١٤ متر
، ح = ٥٠٠ كيلوجرام وثقل العمود ء ح = ١٠٠ كيلوجرام

ج ـ نتصور أن ء ح كرافعة تتحرك حول نقطة الارتكاز ء ونمد ء ء عمودا على ب ح ، م ل خطا رأسيا من مركز ثقل العمود م وحينئذ عزم القوى الشادة للحبل يساوى عزم الثقل ح زائدا عزم ثقل العمود وبهذا السبب قوة شد الحبل مضروبة فى ء ء = ح × ء ه + ثقل العمود × ء ل

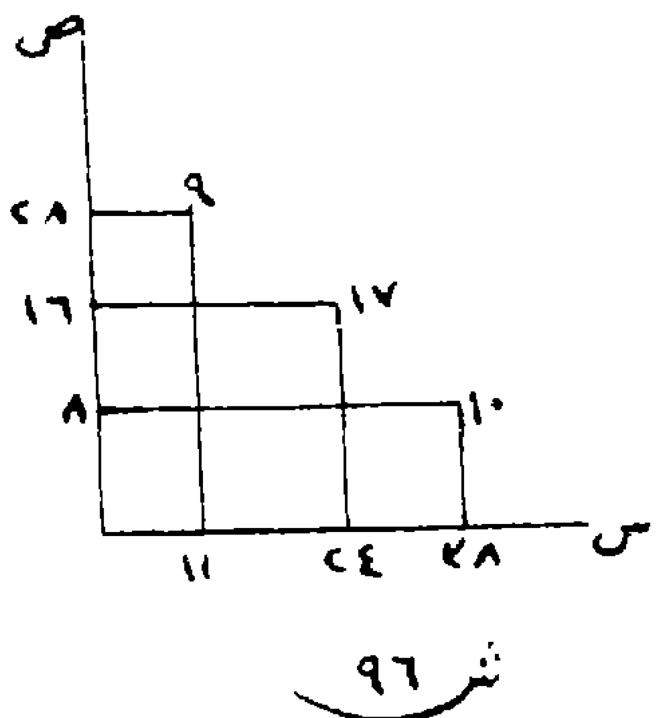
فلو عمل هذا الرسم بالعمل بالضبط لامكن مقاس هذه الأبعاد بالبرجل أو يمكن ايجادها بطريقة حساب المثلثات فنجد أن

ء ء = ٤٠ر٢ متر ، ء ه = ٠٠ر١٠ متر ، ء ل = ٠٠ر٥ متر

وعلى ذلك فالشد × ٤٠ر٢ = ٥٠٠ × ١٠ + ١٠٠ × ٥ أو

الشد = $\frac{٥٥٠٠}{٢ر٤٠}$ = ٢٢٩٢ كيلوجرام

تمرين ثلاثة وعشرين ـ س ـ ثقل ثلاثة اجسام يساوى على التوالى ١٠ كيلوجرام ، ١٧ كيلوجرام ، ٩ كيلوجرام كما فى شكل ٩٦



وابعاد مراكز ثقلها عن محور افقى = ٨ ، ١٦ ، ٢٨ سنتيمتر
وابعاد مراكز ثقلها عن محور رأسى = ٣٨ ، ٢٤ ، ١١ سنتيمتر
فما يكون بعد مركز ثقل الثلاثة أجسام بالنسبة للمحورين

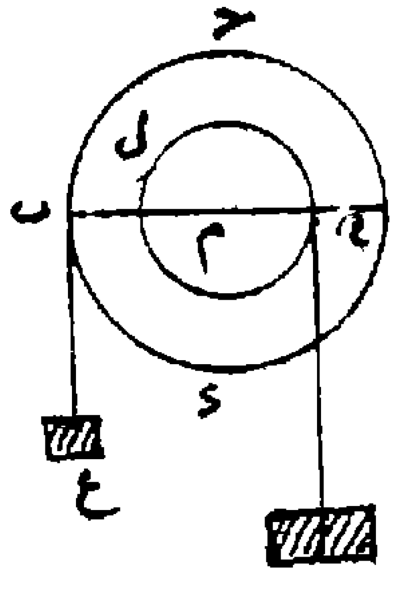
ج ـ نرمز بالحرف س لبعد مركز ثقل الجميع عن المحور الافقى ، س لبعد مركز ثقل الجميع عن المحور الرأسى فعلى ذلك يكون

(١٠+١٧+٩) ص = (١٠ × ٢٨) + (١٧ × ٢٤) + (٩ × ١١) ومنها
ص = ٦٠ر٢٤ سنتيمتر
(١٠ + ١٧ + ٩) س = (١٠ × ٨) + (١٧ × ١٦) + ٩ × ٢٨) ومنها
س = ٨٠ر١٦ سنتيمتر

الملفاف ذى الطاره

هذه الآلة البسيطة هى من جنس الرافعة ولكن طارة كبيرة ب ح ء وملفاف صغير ل ء يدوران معا على محور م فاذا دارت الطارة الكبيرة بقوة ع فالملفاف ل ء شكل ٩٧ يرفع الحبل المربوط فيه الثقل ح لفا وذراع رافعة ع هو ب م وذراع رافعة ح هو م ء ومتى كان هناك توازن بين القوة والثقل يكون ع × ب م = ح × م ء

فاذا وضع لهذه الآلة يد أي منويلة فانها تسمى ارغاط واذا كانت جملة طارات تدور كل منها على الأخرى تسمى ونش وعلى حسب قاعدة الشغل اذا دارت الطارة الكبيرة مرة واحدة يدور الملفاف مرة واحدة ومتى نزلت ع مسافة ٢ × ب م × ٣,١٤ فأن ح ترتفع مسافة ٢ × م ة × ٣,١٤



ش ٩٧

والشغل المعمول بواسطة ع = الشغل المعمول بواسطة ح وعليه يكون

ع × ٢ × ب م × ٣,١٤ = ح × ٢ × م ة × ٣,١٤

أو ع × ب م = ح × م ة وهو عين الموضح سابقا

تمرين اربعة وعشرين - س - طول المللاوينة = ٠,٣٦ متر ونصف قطر الملفاف = ٠,٠٦ والقوة على الطارة = ٦٠ كيلوجرام فما مقدار الثقل الممكن رفعه بصرف النظر عن الاحتكاك

ج - شغل ع في لفة واحدة = ٦٠ × ٢ × ٠,٢٦ × ٣,١٤

وشغل ح في لفة واحدة = ح × ٢ × ٠,٠٦ × ٣,١٤

وحينئذ يكون ٦٠ × ٢ × ٠,٢٦ × ٣,١٤ = ح × ٢ × ٠,٠٦ × ٣,١٤ أو

ح = ٣٦٠ كيلوجرام

تمرين خمسة وعشرين - س - المطلوب ايجاد ح الموضحة في التمرين السابق متى كان قطر الحبل الذي يمر على الملفاف ٠,٠٢ متر و $\frac{1}{8}$ الشغل معدوم بسبب الاحتكاك ويبوسة الحبل

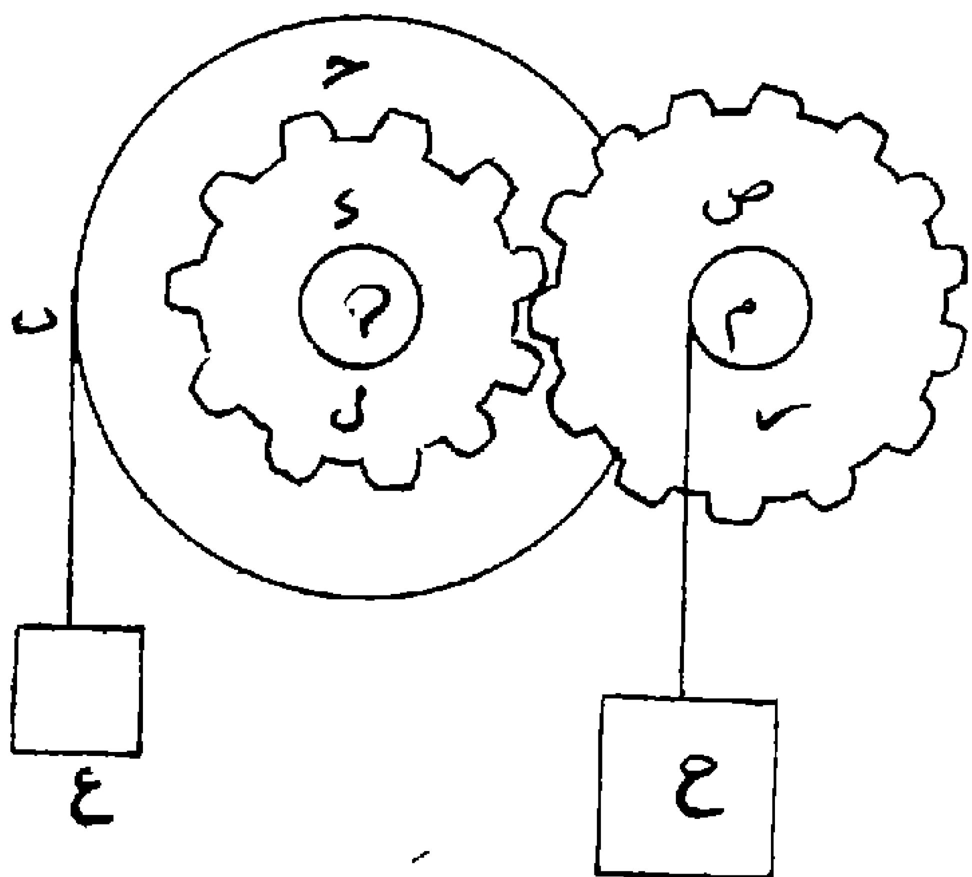
ج - بما أن الحبل يزود نصف قطر الملفاف بقدر ١ سنتيمتر فيصير ٠,٠٧ فيكون شغل

ح = ح × ٢ × ٠,٠٧ × ٣,١٤

والشغل المفيد للثقل ع = $\frac{٧}{٨}$ × ٦٠ × ٠,٢٦ × ٣,١٤ × ٢

ومن حيث أن شغل ح = شغل ع فيكون ح = ٢٧٠ كيلوجرام

الطارات المسننة - لنفرض ان الترس ى ل شكل ٩٨ والطارة ح يدوران معا على المحور ة ا ص ر ترس آخر يدور بالترس الأول وهو يدور مع الملفاف على المحور م والثقل ع معلق في الطارة ح والثقل ح معلق في الملفاف فمتى نزل الثقل ع تدور الطارة ح والترس ى ل من اليمين الى الشمال وكل سن من الترس ى ل يدور من اليمين الى الشمال وكل سن من الترس ص ر يدور من الشمال الى اليمين فعلى ذلك الحبل ل ح



ش ٩٨

الموجود على الملفاف يلتف والثقل ح يرتفع

تمرين ستة وعشرين ـ س ـ لنفرض أن ع = ١٢٠ كيلوجرام وقطر الطارة ح = ١٠٠ر متر وعدد اسنان الترس ء ل = ١١ وعدد أسنان الترس ص ر = ١٤ وقطر الملفاف م = ١٥ر متر فما هو مقدار ح بصرف النظر عن الأحتكاك

ج ـ فى كل دورة للطارة ح تدور الاحدى عشر سنا للترس ء ل وعلى ذلك اذا قسمنا عدد أسنان الترس ص ر على عدد اسنان الترس ء ل ينتج عدد دورات الترس ء ل متى دار الترس ص ر مرة واحدة وبفرض أن الملفاف م والترس ص ر يدوران معا دورة واحدة فعليه يدور الترس ء ل والطارة ح بقدر $\frac{١٤}{١١}$

والمسافة التى يطلعها ح = ١٥ر × ١٤ر٣

والمسافة التى ينزلها ع = $\frac{١٤}{١١}$ × ١ × ١٤ر٣

والشغل المعمول بالثقل ح = ح × ١٥ر × ١٤ر٣

والشغل المعمول بالثقل ع = ١٢٠ × $\frac{١٤}{١١}$ × ١٠٠ر × ١٤ر٣

وبما ان شغل ح = شغل ع فعليه يكون

ح = ١٠١٨ كيلوجرام

تمرين سبعة وعشرين ـ اذا كان طول اليد ه ـ للونش الذى فى الشكل (٩٨) = ٣٨ر متر وعدد أسنان الترس ء ل = ١٢ وعدد اسنان الترس ص ر = ٦٠ وقطر الملفاف م = ٠٩٥ر متر وبالتجربة علم ان ١٠٠ كيلوجرام فى اليد يمكنها ان ترفع ٢٥٠٠ كيلوجرام فما يكون مقدار الاحتكاك

ج ـ المسافة التى يطلعها ح فى دورة واحدة من دوران الترس ص ر = ٠٩٥ر × ١٤ر٣

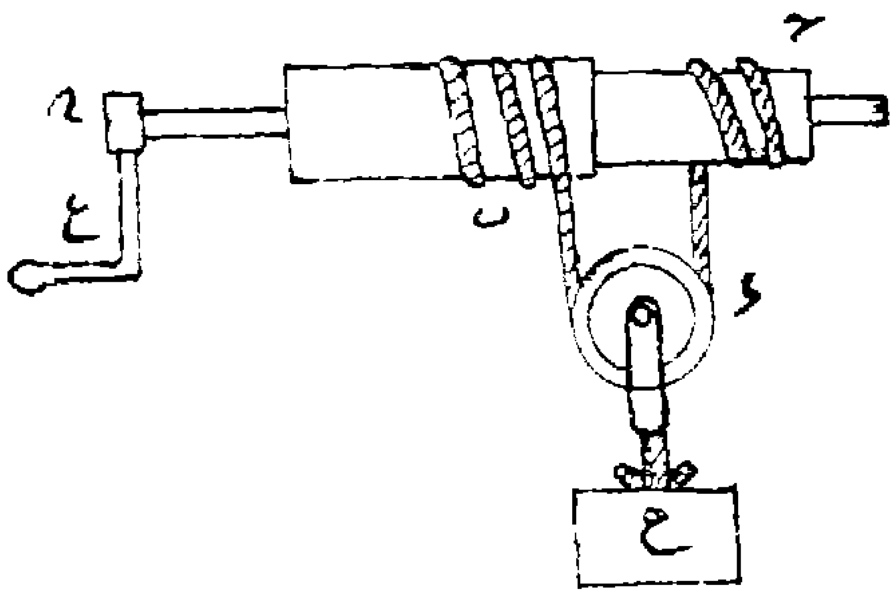
والمسافة التى ينزلها ع فى دورة واحدة من دورات الترس ص ر = $\frac{٦٠}{١٢}$ × ٢ × ٣٨ر × ١٤ر٣

والشغل المعمول بالثقل ح = ح × ٠٩٥ر × ١٤ر٣ = شغل ع = ١٠٠ × $\frac{٦٠}{١٢}$ × ٢ × ٣٨ر × ١٤ر٣

ومنه ح = ٤٠٠٠ كيلوجرام

لكن الذى وجد بالتجربة هو ٢٥٠٠ فالعادم حينئذ بسبب الاحتكاك = ٤٠٠٠ ـ ٢٥٠٠ = ١٥٠٠

أو $\frac{١٥٠٠}{٤٠٠٠}$ = $\frac{٣}{٨}$ وهو مقدار العادم بسبب الاحتكاك



ش ٩٩

٢ الملفاف الفرقى ـ يوجد ارتباط على لقوة الملفاف البسيط ذى الطارة لا يمكن تجاوزه بمعنى أنه يمكن تكبير القوة بازدياد قطر الطارة أو تصغير قطر الملفاف بدون ان يتجاوز الحد المعلوم وأما فى الملفاف الفرقى فيمكن زيادة القوة بكثرة والآلة الموضحة فى الشكل ٩٩ لها ملفاف واحد بقطرين مختلفين ب ، ح وحبل

يلف على احدهما بكيفية ويلف على الثاني بعكس الكيفية الأولى وجزء الحبل بين الاثنين يمر على بكرة متحركة ء حاملة للثقل ح والقوة ع موجودة على يد المنويلة

ومتى دارت اليد فأحد الحبلين يلف على ب والثاني يحل من حـ وبسبب ذلك فمسافة طلوع ح هي متعلقة بالفرق بين قطري الملفاف ولهذا السبب لايكون لهذه الآلة حد لأنه يمكن تزويد الفرق بين قطري الملفاف أو تنقيصه بحسب الارادة دون احتياج لتغيير اليد

تمرين ثمانية وعشرين ـ س ـ اذا كان قطر الملفاف في ب = ٠٫٢٥ متر وفي حـ = ٠٫٢٠ متر وطول اليد = ١٫٠٠ متر و ح = ٣٠٠ كيلوجرام فما مقدار القوة ع بصرف النظر عن الاحتكاك

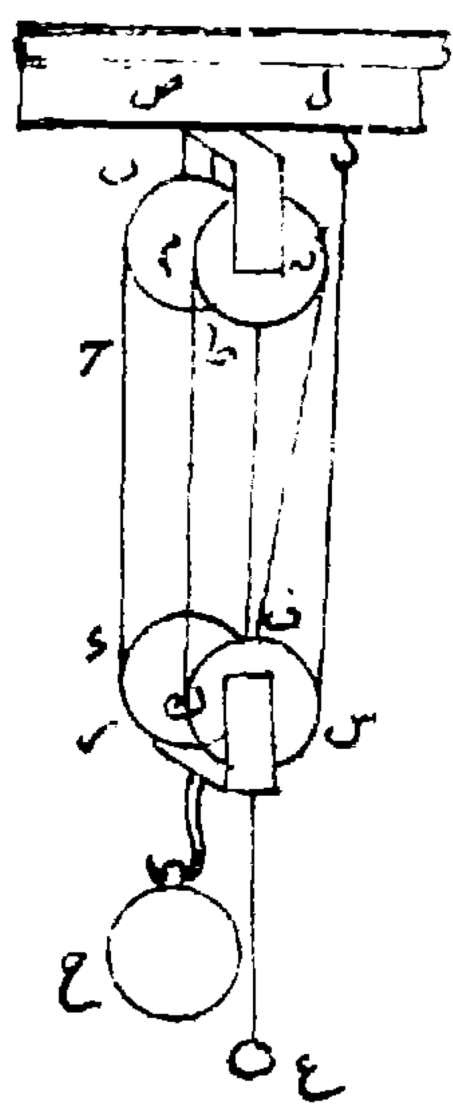
ج ـ متى دارت اليد ء ع مرة واحدة يرتفع الحبل في ب مسافة مساوية لمحيط الملفاف ب والحبل في حـ ينزل بقدر محيط الملفاف حـ وبذلك يقصر الحبل مسافة تساوي الفرق بين المحيطين وبما أن الحبل يلف على البكرة ح فانها ترتفع مقدارا مساويا لنصف الفرق بين محيطي الملفاف وحينئذ يعمل شغل ح في دورة واحدة لليد ء ع $= ٣٠٠ \times \frac{٠٫٢٥ \times ٣٫١٤ - ٠٫٢٠ \times ٣٫١٤}{٢}$

ويعمل شغل ع في دورة واحدة لليد ء ع = ع × ٢ × ١ × ٣٫١٤ وعليه يكون

$$ع \times ٢ \times ١ \times ٣٫١٤ = ٣٠٠ \times \frac{٠٫٠٥ \times ٣٫١٤}{٢}$$ ومنها

ع = ٣٫٨ كيلوجرام

العيار ـ تمرين تسعة وعشرين ـ س ـ اذا كان حبل ل س م ء ف ر ء حـ ب ط ع شكل ١٠٠ هو مربوط في خطاف ل ويلف على البكرتين المتحركتين لـ ا ، ر وعلى البكرتين الثابتتين ء ، ب وقوة قدرها ٢٠٠ كيلوجرام في ع وظهر بالتجربة أن القوة المذكورة ترفع الثقل ح الذي قدره ٥٦٥ كيلوجرام فما مقدار العادم من القوة بسبب الاحتكاك ويبوسة الحبل وثقل البكرتين المتحركتين



ش ١٠٠

ج ـ متى ارتفع ح بمقدار ١٫٠٠ متر فكل من الأحبال ل س ، س م ، ء ف ، ف ر ، ا ب ينقص بمقدار ١٫٠٠ متر فبسبب ذلك وبفرض عدم وجود احتكاك فالشغل المعمول بالثقل ح = ح × ١ ويلزم أن يكون مساويا لشغل ع الذي يلزم أن ينزل ٤٫٠٠ متر أعني يساوي ع × ٤ وعلى ذلك

$$ع = \frac{ح}{٤} = \frac{٥٦٥}{٤} = ١٤١ \text{ كيلوجرام}$$

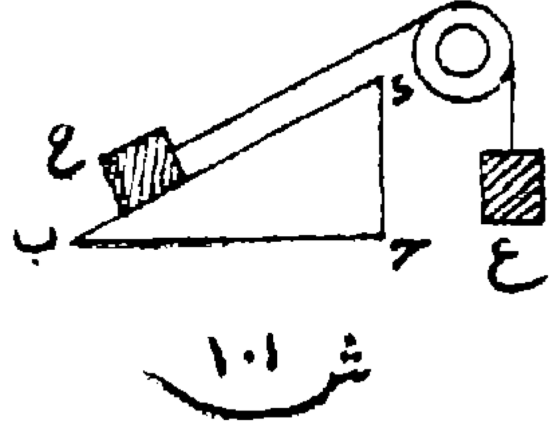
وكنا وجدنا بالتجربة أنه يلزم ٢٠٠ كيلوجرام لعمل هذا الشغل فالقوة العادمة حينئذ تساوي

٢٠٠ − ١٤١ = ٥٩ أو

$\frac{٣}{١٠}$ القوة الاصلية تقريبا

المستوى المائل

المستوى المائل — ليكن المطلوب جر الجسم ح على مستوى مائل ب ء بالقوة ع كما فى شكل ١٠١ بواسطة حبل مواز لميل المستوى بفرض عدم وجود احتكاك فتى مر الجسم ح من ب الى ء فالقوة ح تنزل مسافة مساوية الى ب ء وعلى حسب قاعدة الشغل يكون وحدات الشغل اللازمة لطلوع ح من ب الى ء = الرأسى حـ ء × ح



ش ١٠١

والشغل اللازم عمله بالقوة ع فى النزول = ع × ب ء = ح × حـ ء أو

$$ع = \frac{حـ ء}{ب ء} \times ح$$

تمرين ثلاثين — س — طول مستوى مائل = ٢٠٠ متر وارتفاعه = ٤٠ متر وثقل الجسم الموضوع عليه = ٥٠٠ كيلوجرام ومعامل الاحتكاك = $\frac{١}{١٥}$

فما هى القوة اللازمة لجر هذا الجسم على المستوى المائل المذكور

ج — بسبب ضعف الميل فأن الضغط العمودى للجسم على المستوى المائل يساوى ثقل الجسم نفسه وشغل الاحتكاك الناشئ عن جر الجسم على المستوى المائل بطول ٢٠٠ متر = $\frac{٥٠٠}{١٥}$ × ٢٠٠ = ٦٦٦٦ كيلوجرام متر

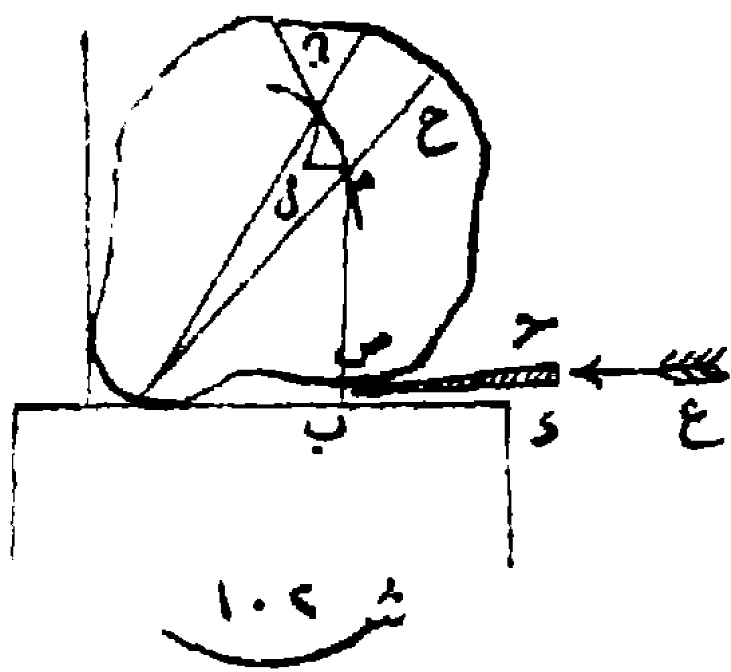
والشغل اللازم لرفع الجسم الى ارتفاع ٤٠ متر = ٥٠٠ × ٤٠ = ٢٠٠٠٠

فاذا رمز بالحرف ع للقوة بالكيلوجرام اللازمة لجر الجسم على مسافة ٢٠٠ متر فشغل ع = ع × ٢٠٠ وعلى ذلك يكون

ع × ٢٠٠ = ٦٦٦٦ + ٢٠٠٠٠ = ٢٦٦٦٦

أو ع = ١٣٣,٣٣ كيلوجرام

الخابور — ليكن ب حـ ء كما فى شكل ١٠٢ خابور يتحرك على مستوى افقى ب ء و ع هو ضغط افقى واقع على الوجه ء حـ للخابور فمتى ابتدأ الخابور فى الدخول بين الجسم ح والمستوى الأفقى فيبقى هذا الجسم مرتكزا على المستوى الأفقى لكن متى دخل الخابور مسافة مساوية لطوله ب ء ففى هذه الحالة ترتفع نقطة ص بمقدار ارتفاع الخابور ء حـ ومركز ثقل الجسم م يرتفع بمسافة رأسية تساوى ل ع



ش ١٠٢

اذا كان ب ء = ٠,٢٠ متر ، حـ ء = ٠,٠٥ متر والضغط فى نقطة ص = ٦٠ كيلوجرام وصرف النظر عن الاحتكاك

فالشغل المعمول بالضغط ع = ع × ٠,٢٠

والشغل المعمول فى نقطة ص = ٦٠ × ٠,٠٥ وعليه

ع × ٠,٢٠ = ٦٠ × ٠,٠٥ ومنه

ع = ١٠ كيلوجرام ومن هذا الحساب يرى ان شغل الخابور هو متعلق بتخانته بالنسبة لطوله وأن اكبر قوة له تحصل من الدق عليه بالقوة والسرعة

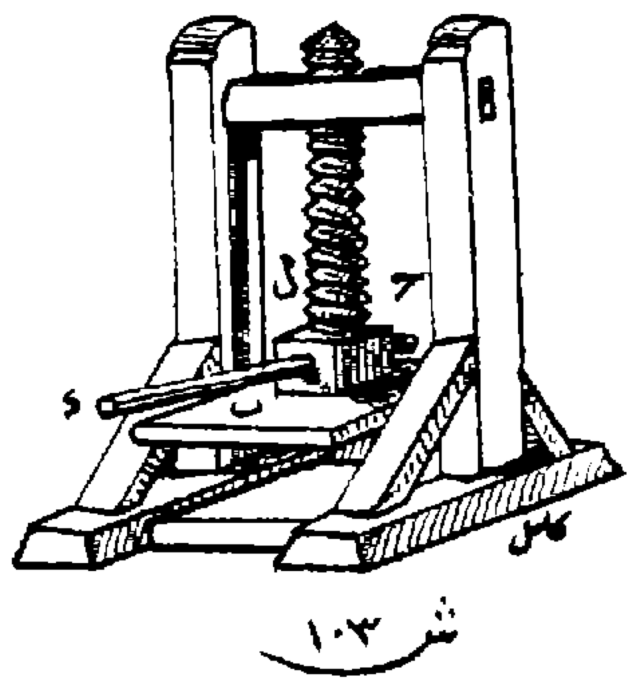
تمرين واحد وثلاثين – س – اذا كان بسرعة ١٢ متر فى الثانية يحصل على عشرين دقة بچاكوش كبير وزنه = ١٥ كيلوجرام على الوجه ء حـ للخابور ومقدار دخوله تحت الجسم يساوى ٠٠٨ر٠ فى الاتجاه ء ب، ح = ٣٠٠٠٠٠ كيلوجرام ويرتفع مركز ثقله من م الى م على مسافة رأسية ل م المساوية الى ١ سنتيمتر متى ارتفعت ص بمقدار ٢ سنتيمتر فما هو جزء القوة ع المفقود بسبب الاحتكاك اذا كان ب ء = ٨ مرات ء حـ

ج – عندما يدخل الخابور ٠٠٨ر٠ متر فنقطة ص ترتفع ١ سنتيمتر ومركز الثقل يرتفع ½ سنتيمتر وسعوى فى تمرين خمسين – أن چاكوش وزنه ١٥ كيلوجرام يعمل عشرين دقة بسرعة ١٢ متر فى الثانية وحدات شغله ٢١٩٠ وهو مقدار شغل ع وهذا الشغل يرفع مركز ثقل الجسم بقدر ½ سنتيمتر وحدات الشغل المعمولة على الجسم لرفع مركز ثقله ½ سنتيمتر = ح × ٠٠٥ر٠ = شغل ع = ٢١٩٠ ومنه

ح = ٤٢٨٠٠٠ كيلوجرام

فحينئذ يكون العادم ٣٠٠٠٠٠ – ٤٢٨٠٠٠ = ١٢٨٠٠٠ أعنى ثلاثين فى المائة وهو مقدار العادم بالاحتكاك

البريمة – فى هذه الآلة القوة المؤثرة هى على دائرة نصف قطرها اليد حـ ء شكل ١٠٢ وسير الشغل الناتج منها يكون على خط مستقيم



ش ١٠٣

تمرين اثنين وثلاثين – اذا كان طول اليد حـ ء لبريمة بسيطة = ٥ر١ متر والخطوه ل للبريمة = ٠١ر٠ متر وكانت القوة ع المؤثرة على اليد = ١٠٠ كيلوجرام فما يكون مقدار الضغط ح للوحة البريمة ب

ج – المسافة التى تقطعها ع فى لفة واحدة = ٢ × ٥ر١ × ١٤ر٣

والمسافة التى تقطعها ح = ٠١ر٠ متر

وشغل ع فى لفة واحدة = ١٠٠ × ٢ × ٥ر١ × ١٤١٦ر٣

وشغل ح فى لفة واحدة = ح × ٠١ر٠

وبما أن شغل ح = شغل ع فيكون

ح × ٠١ر٠ = ١٠٠ × ٢ × ٥ر١ × ١٤١٦ر٣

أو ح = ٩٤٢٤٨ كيلوجرام

ويظهر من ذلك أنه يمكن تزويد قوة البريمة اما بتطويل اليد أو بتقصير الخطوة

س – طول يد بريمة بسيطة = ٢٠ر٠ متر والقوة المؤثرة عليها = ٤٠ كيلوجرام والضغط على لوحة البريمة = ٢٠٠٠ كيلوجرام فما مقدار الخطوة

البريمة المركبة - هذه الآلة تشتمل على بريمتين أحدهما داخل الأخرى متى نزلت البريمة الكبيرة فالبريمة الصغيرة التي داخلها ترتفع وبسبب ذلك فالدورة الواحدة لليد تنزل لوحة البريمة بمقدار الفرق بين خطوتي البريمتين

تمرين ثلاثة وثلاثين - س - اذا كان طول يد بريمة مركبة = ١٫٠٠ متر والقوة المؤثرة على اليد المذكورة ٦٠ كيلوجرام وخطوة البريمة الكبيرة ٠٫٠١٥ متر وخطوة الصغيرة ٠٫٠١ متر فما هو الضغط على اللوحة

ج - في دورة واحدة لليد البريمة الكبيرة تنزل ٠٫٠١٥ متر والصغيرة ترتفع ٠٫٠١ متر فبهذا السبب تنزل البريمة على اللوحة بمقدار ٠٫٠١٥ - ٠٫٠١ = ٠٫٠٠٥ ويكون الشغل المعمول في لفة واحدة = ح × ٠٫٠٠٥

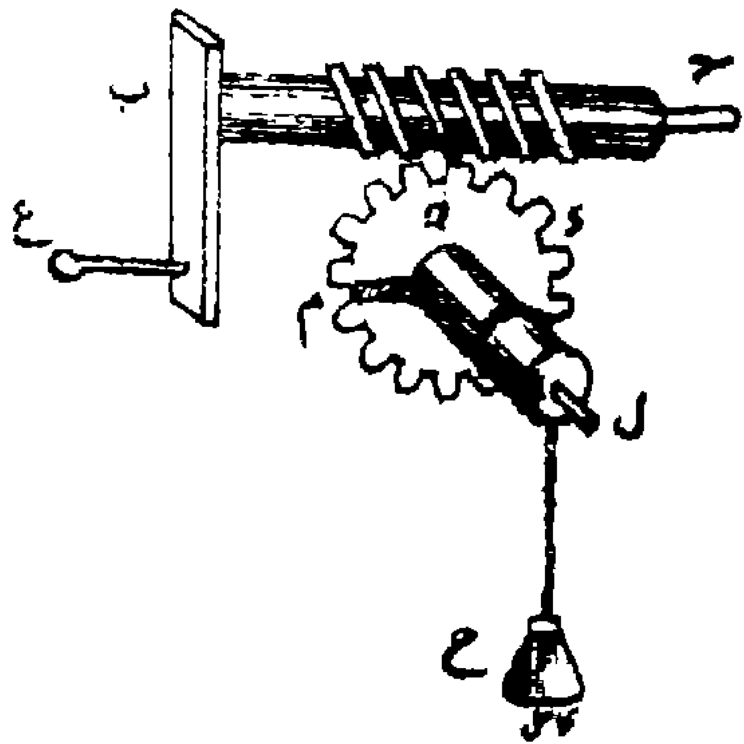
وشغل القوة المؤثرة على اليد في لفة واحدة = ٦٠ × ٢ × ١ × ٣٫١٤ = ٣٧٧

وعليه فيكون ح × ٠٫٠٠٥ = ٣٧٧ ومنه

ح = ٧٥٤٠٠ كيلوجرام

البريمة الغير المنتهية

في هذه الآلة كما في شكل ١٠٤ خطوات البريمة هي على اسطوانة وتنقل الحركة الى ترس ء م مثبت فيه ملفاف ل ج ملفوف عليه حبل مربوط فيه الثقل ح وهذه الآلة تعطي حركة بطيئة للثقل ح



تمرين اربعة وثلاثين - س - طول يد ب ع لبريمة غير منتهية = ١٫٠٠ متر والقوة المؤثرة عليها ع = ٢٦ كيلوجرام وعدد اسنان الترس ء م = ٢٤ ونصف قطر الملفاف ل ج = ٠٫٠٥ متر فما مقدار الثقل ح الممكن رفعه بصرف النظر عن الاحتكاك

ج - الدورة الواحدة من اليد تدور خطوة في البريمة وسن واحد من الترس ء م فعلى ذلك اذا دارت اليد ٢٤ مرة فالترس والملفاف يدوران مرة واحدة لأن عدد اسنان الترس ٢٤ والشغل المعمول في دورة من الملفاف = ح × ٢ × ٠٫٠٥ × ٣٫١٤

لأن ح يرتفع بقدر ٢ × ٠٫٠٥ × ٣٫١٤

وشغل القوة المؤثرة على اليد في دورة واحدة للترس = ٢٦ × ٢ × ١ × ٣٫١٤ × ٢٤ وعلى ذلك يكون

ح × ٢ × ٠٫٠٥ × ٣٫١٤ = ٢٦ × ٢ × ١ × ٣٫١٤ × ٢٤ ومنه

ح = ٣٤٥٦ كيلوجرام

سقوط الأجسام

المسافة التي يقطعها أي جسم سائر بحركة منتظمة تساوي الزمن مضروبا في السرعة

أعني اذا كان سير جسم في الثانية ٣٫٠٠ متر فالمسافة التي يقطعها في خمس ثوان من الزمن = ٥ × ٣ = ١٥

اذا ابتدا جسم فى المسير بسرعة قدرها ٢٫٠٠ متر فى الثانية الواحدة وكانت سرعته تتزايد بالتدريج الى ان تصل فى آخر الخمس ثوانى الى ٤٫٠٠ متر فى الثانية

فالمسافة التى يقطعها الجسم فى خمسة ثوانى هى

$$٥ \times \frac{٢+٤}{٢} = ٥ \times ٣ = ١٥$$

اذا سقط جسم بدون مانع من ارتفاع قريب من سطح الارض لمقدار قوة الجذب هو ثابت وهو يزيد سرعة الجسم فى كل ثانية بكمية ثابتة علمت بالتجربة

مثلا السرعة فى انتهاء الثانية الأولى من السقوط هى ٩٫٧٩ × ١

والسرعة فى انتهاء الثانية الثانية من السقوط هى ٩٫٧٩ × ٢

والسرعة فى انتهاء الثانية الثالثة من السقوط هى ٩٫٧٩ × ٣

فاذا رمزنا بالحرف س للسرعة ، ز للزمن مقدرا بالثوانى ، ح لعجلة التثاقل يكون

$$س = ز \times ح \quad (٢)$$

والمسافة التى يقطعها الجسم فى ثانية واحدة بسبب انه يبتدئ بصفر وينتهى فى آخر الثانية الى ٩٫٧٩ هى $\frac{٩٫٧٩}{٢} \times ١$

والمسافة التى يقطعها الجسم فى أربعة ثوانى = ٤ × ٢ × ٩٫٧٩

وبسبب أن الجسم يبتدئ بصفر وينتهى بعد اربعة ثوانى الى ٤ × ٩٫٧٩

فالسرعة المتوسطة فى اربعة ثوانى = ٩٫٧٩ × ٢

لكن المسافة = $٤ \times ٢ \times ٩٫٧٩ = ٤ \times ٤ \times \frac{٩٫٧٩}{٢} = ٤^{٢} \times \frac{٩٫٧٩}{٢}$ أو

$$هـ = \frac{ح}{٢} ز^{٢} \quad .... \quad (٣)$$

بفرض هـ رمز للمسافة بالمتر

تمرين خمسة وثلاثين ــ س ــ ما هى سرعة الجسم الذى يسقط فى مدة خمسة ثوانى فى انتهاء الثانية الخامسة

ج ــ س = ٥ × ٩٫٧٩ = ٤٨٫٩٥ متر فى الثانية الأخيرة

تمرين ستة وثلاثين ــ س ــ ما مقدار الثوانى التى يحصل فيها جسم ساقط على سرعة قدرها ٥٨٫٧٤ متر فى الثانية

ج ــ ٥٨٫٧٤ = ز × ٩٫٧٩ أو ز = ٦ وهو المطلوب

تمرين سبعة وثلاثين ــ س ما هى المسافة التى يقطعها الجسم فى السقوط فى زمن قدره ٥ ثوانى

ج ــ بفرض هـ = المسافة يكون

$$هـ = \frac{ح}{٢} ز^{٢} = \frac{٩٫٧٩}{٢} \times ٥^{٢} = ١٢٢٫٤ \text{ متر وهو المطلوب}$$

تمرين ثمانية وثلاثين ــ س ــ اذا سقط جسم بقوة تكسبه سرعة ٣٠٫٠٠ متر فى الثانية فما هى المسافة

المسافة التى يقطعها الجسم المذكور فى زمن قدره ٦" بتأثير التثاقل

ج ـ من المعلوم ان الجسم يحفظ سرعته الأصلية بدون تأثير التثاقل وحينئذ فالمسافة التى يقطعها الجسم بقوة السقوط هى

$$٦ \times ٣ = ١٨$$

والمسافة التى يقطعها الجسم بتأثير التثاقل فى الزمن المذكور $= \frac{٩٫٧٩}{٢} \times ٦^{٢} = ١٧٦٫٢٠$ متر

ومجموع المسافتين $= ١٨ + ١٧٦٫٢ = ١٩٤٫٢$ متر وهى المسافة التى يقطعها الجسم فى الزمن المذكور بقوتى السقوط والتثاقل

س ـ ماهو الزمن الذى يستغرقه الجسم فى السقوط من مسافة قدرها ٦٦ متر

تمرين تسعة وثلاثين ـ س ـ اذا كانت سرعة جسم ٣٠٫ متر فى الثانية فما تكون المسافة التى يقطعها الجسم فى السقوط للحصول على هذه السرعة

ج ـ $س = ح \times ن$ أو $٣٠ = ٩٫٧٩ \times ن$ أو $ن = \frac{٣٠}{٩٫٧٩}$

والمسافة $هـ = \frac{ح}{٢} ن^{٢} = \frac{٩٫٧٩}{٢} \left(\frac{٣٠}{٩٫٧٩}\right)^{٢} = \frac{٤٥٠}{٩٫٧٩} = ٤٦٫$ متر

شغل التثاقل ـ يمكن جعل سرعة الجسم فى الثانية ٩٫٧٩ متى كان ثقله = ١ كيلوجرام ورفع بقدر $\frac{٩٫٧٩}{٢}$ أو سقط من ارتفاع ٤٫٨٩٥

ووحدات الشغل المعمول بالجسم المذكور تكون $١ \times ٤٫٩٠ = ٤٫٩٠$ وحدات شغل

ملحوظه ـ مقدار ح الموضح هنا وهو ٩٫٧٩ هو مقدار العجله فى المحروسة ولحساب وحدات شغل اى جسم متحرك يجث عن المسافة الساقط منها الجسم المذكور بتأثير التثاقل المتحصلة وتضرب فى ثقل الجسم بالكيلوجرام

تمرين أربعين ـ س ـ وزن مندالة ٦٠٠ كيلوجرام وسرعتها فى لحظة الدق على الخازوق ٩٫٧٩ متر فى الثانية فما هى وحدات شغل المندالة

ج ـ حسب ما تقدم تكون المندالة ساقطة من ارتفاع ٤٫٩٠ متر للحصول على هذه السرعة وعلى ذلك فوحدات شغل المندالة هى $٦٠٠ \times ٤٫٩٠ = ٢٩٤٠$ وحدات شغل

تمرين واحد واربعين ـ س ـ ماهى وحدات الشغل لجسم ثقله ٥٠ كيلوجرام وسرعته فى نهاية زمن السقوط = ٦٠ متر

ج ـ $س = ح ن$ ومنها $ن = \frac{س}{ح}$

والمسافة $هـ = \frac{ح}{٢} ن^{٢} = \frac{ح}{٢} \left(\frac{س}{ح}\right)^{٢} = \frac{س^{٢}}{٢ح}$ أو $هـ = \frac{٦٠ \times ٦٠}{٢ \times ٩٫٧٩} = ١٨٤$ متر

وحينئذ فوحدات الشغل $= ٥٠ \times ١٨٤ = ٩٢٠٠$

وينتج من التمرين المذكور أن

$$هـ = \frac{س^{٢}}{٢ح} \quad \ldots\ldots \quad (٤)$$

فاذا رمز بالحرف ش لوحدات الشغل ، ح لثقل الجسم بالكيلوجرام يكون

$ش = ح ه = ح \times \frac{ع^٢}{٢ ء}$ ... (٥)

تمرين اثنين واربعين ـ س ـ اذا رميت كوره وزنها ١٠ كيلوجرام بسرعة ٢٠ متر فى الثانية على أرض افقية فما هى المسافة التى تقطعها الكورة الى ان تقف بنفسها اذا كان معامل الاحتكاك $\frac{١}{٥}$

ج ـ وحدات شغل الكوره $= ١٠ \times \frac{٢٠ \times ٢٠}{٩٫٧٩ \times ٢} = ٢٠٤٫٣٠$

واذا رمز بحرف ص للمسافة التى تقطعها الكورة الى أن تقف بنفسها فوحدات شغل الكورة على الأرض الافقية $= \frac{١}{٥} \times ص$

وعلى ذلك يكون $\frac{١}{٥} \times ص = ٢٠٤٫٣٠$ ومنها

ص $= ٦١٫٠٠$ متر

تمرين ثلاثة واربعين ـ س ـ ثقل وابور بعرباته ٢٠٠٠٠٠ كيلوجرام وسرعته ٥٠ كيلومتر فى الساعة فما تكون المسافة التى يقطعها الوابور بعد حجز قوة البخار عنه حتى يقف من نفسه اذا كانت السكة الحديد افقية ومعامل الاحتكاك فيها $= \frac{١}{٤٠٠}$

ج ـ السرعة ٥٠ كيلومتر فى الساعة ففى الثانية الواحدة تكون $\frac{٥٠٠٠٠}{٦٠ \times ٦٠} = ١٣٫٩٠$ متر فى الثانية

ووحدات شغل الوابور $= ٢٠٠٠٠٠ \times \frac{١٣٫٩ \times ١٣٫٩}{٩٫٧٩ \times ٢} = ١٩٧٤٠٠٠$ وحدات شغل

ووحدات شغل الاحتكاك لحد وقوف الوابور بفرض ص = المسافة بالمتر هو $\frac{٢٠٠٠٠٠}{٤٠٠} \times ص = ٥٠٠$ ص

وعليه ٥٠٠ ص $= ١٩٧٤٠٠٠$ ومنه

ص $= ٣٩٤٨$ متر وهى المسافة المطلوبة

س ـ وابور بعرباته يزن ٦٠٠٠٠ كيلوجرام يسير بسرعة ٦٤ كيلومتر فى الساعة فما هى المسافة التى يقطعها الوابور صعودا على مستو ميله $\frac{١}{١٠٠}$ بعد منع قوة البخار عنه الى ان يقف بنفسه اذا كان معامل الاحتكاك $= \frac{١}{٢٥٠}$

س ـ عربة وزنها ١٠٠٠ كيلوجرام تسير على سكة حديدية افقية بسرعة ٢٫٧٠ فى الثانية الواحدة فما هى المسافة التى تقطعها العربة الى ان تكون سرعتها ٠٫٦٠ فى الثانية اذا كان معامل الاحتكاك $\frac{١}{٢٥٠}$

تمرين اربعه واربعين ـ س ـ جسمين وزن احدهما = ٧ كيلوجرام ووزن الثانى = ٤ كيلوجرام مربوطين فى طرفى حبل مار على بكرة مثبتة فى نقطة فما تكون المسافة التى يقطعها الجسم الأول للحصول على سرعة ١٫٠٠ متر فى الثانية بصرف النظر عن الاحتكاك

ج ـ بسبب ان سرعة صعود الجسم الذى وزنه ٤ كيلوجرام هى كسرعة نزول الجسم الذى وزنه ٧ كيلوجرام فى الزمن الذى فيه سرعة ١٫٠٠ متر فى الثانية

فوحدات شغل الجسم الاكبر $= \frac{٧ \times ١}{٩٫٧٩ \times ٢} = ٠٫٣٥٧$ وحدات شغل

ووحدات شغل الجسم الاصغر $= \frac{٤ \times ١}{٩٫٧٩ \times ٢} = ٠٫٢٠٤$ وحدات شغل

ومجموع

ومجموع الشغل في الجسمين = ٠ر٠٥٦١ وحدات شغل
فاذا فرض أن ص = المسافة المقطوعة بكل من الجسمين للحصول على سرعة ٠ر١ متر في الثانية يكون
شغل التثاقل بالنسبة للجسم الاكبر = ٧ ص
وشغل التثاقل بالنسبة للجسم الأصغر = ٤ ص
ومن حيث ان اصغر الجسمين صاعد والآخر نازل فيكون شغل التثاقل = ٧ ص - ٤ ص = ٣ ص
أو ٣ ص = ٠ر٠٥٦١ ومنه ص = ٠ر٠١٩ وهو المطلوب

تمرين خمسة واربعين - س - جسمين ح ، حَ ثقل احدهما ح = ٠ر٥٠ كيلوجرام شكل ١٠٥
وثقل الثانى ٠ر٤٠ كيلوجرام مربوطين بحبل حرير رفيع جدا مارا على بكرة ب من
ظهر مثبتة في نقطة فما هو الزمن الذى فيه ح ينزل مسافة ٠ر٦٠ متر
وما مقدار سرعته في آخر الزمن المذكور اذا كان المحور ع للبكرة من نحاس
ومحيطه = ٢ سنتيمتر ومحيط البكرة = ٢٠ سنتيمتر

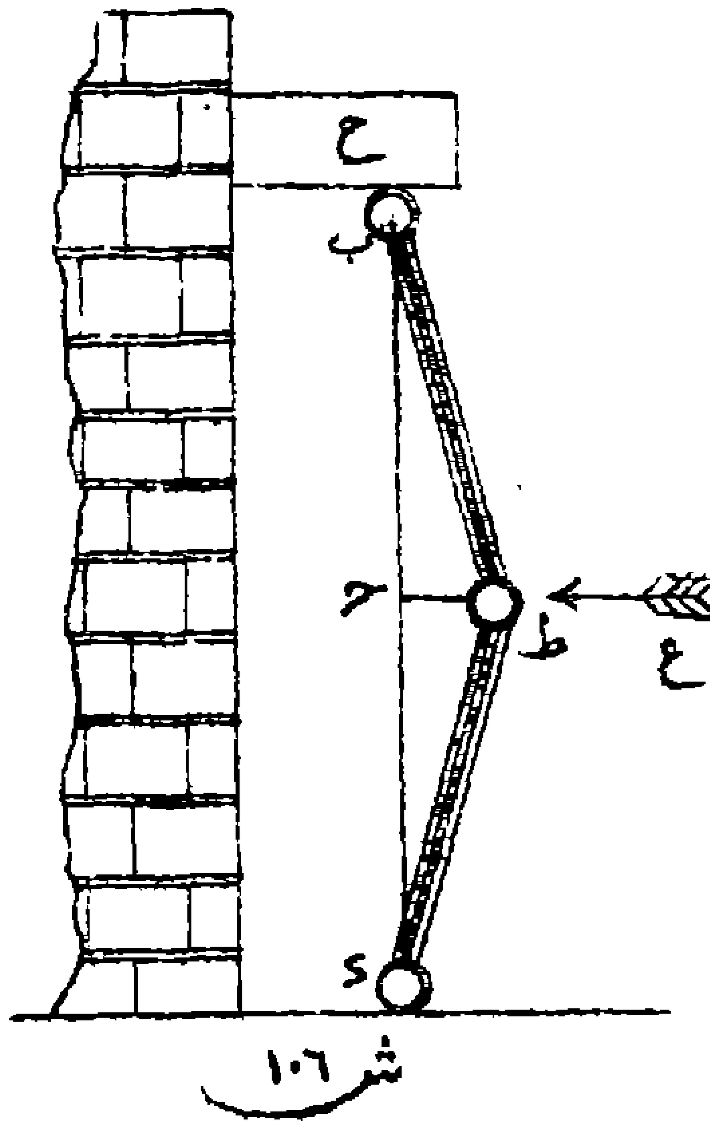
ج - متى قطع ح مسافة ٠ر٦٠ متر فكل نقطة من محيط المحور تقطع $٦ \times \frac{٠ر٠٢}{٠ر٢٠}$
= ٠ر٠٤٠ بفرض ان معامل احتكاك النحاس على الظهر النظيف المدهون بالزيت
= ٠ر٠٤٥ وثقل الجسمين = ٠ر٥ + ٠ر٤ = ٠ر٩ كيلوجرام
فوحدات الشغل المفقوده بسبب الاحتكاك = ٠ر٩ × ٠ر٠٤٠ × ٠ر٠٤٥ = ٠ر٠٠١٦٢
وشغل التثاقل = ٦ (٠ر٥ - ٠ر٤) = ٠ر٠٦٠
فاذا طرح منه الشغل المفقود بسبب الاحتكاك الذى مقداره ٠ر٠٠١٦٢
فالباقى هو الشغل المفيد وهو ٠ر٠٥٨٣٨
وبفرض ان س = سرعة الجسم ح
فوحدات شغل الجسمين = $(٠ر٥ + ٠ر٤) \frac{س^٢}{٢ \times ٩ر٧٩}$ أو
$\frac{س^٢ \times ٠ر٩}{٢ \times ٩ر٧٩} = ٠ر٠٥٨٣٨$ ومنه
$س^٢ = \frac{٩ر٧٩ \times ٢ \times ٠ر٠٥٨٣٨}{٠ر٩٠} = ١ر٢٧٠$
أو س = ١ر١٢٦ متر في الثانية أعني أن السرعة في آخر الزمن = ١ر١٣٦ متر لكن من حيث أن
السرعة ابتدأت من صفر وانتهت الى ١ر١٣٦ متر فيكون متوسط السرعة $\frac{١ر١٣٦}{٢}$ = ٠ر٥٦٨ متر
وبما ان م = س × ز أعنى أن المسافة تساوى السرعة في الزمن وعليه يكون
$ز = \frac{٠ر٦}{٠ر٥٦٨} = ١ر٠٥٦$ ث

تمرين ستة واربعين - س - اذا كان ط = ط ء = ٢٠ سنتيمتر شكل ١٠٦ اللذان هما
ذراعان معشقان في الركبة ط الواقع عليها ضغط ٢٠٠ كيلوجرام في الاتجاه ط ح المساوى
١ سنتيمتر حتى يصيرا على خط مستقيم رأسى بفرض ان الطرف ء ثابت فما هو الثقل الممكن

رفعه بالطرف ب

ج - ب‍ـد = $\sqrt{٢٠^{٢} - ١}$ = $\sqrt{٣٩٩}$ = ١٩٫٩٧٥ سنتيمتر

، ب ء = ٢ ب‍ـد = ٣٩٫٩٥ سنتيمتر



شـ ١٠٦

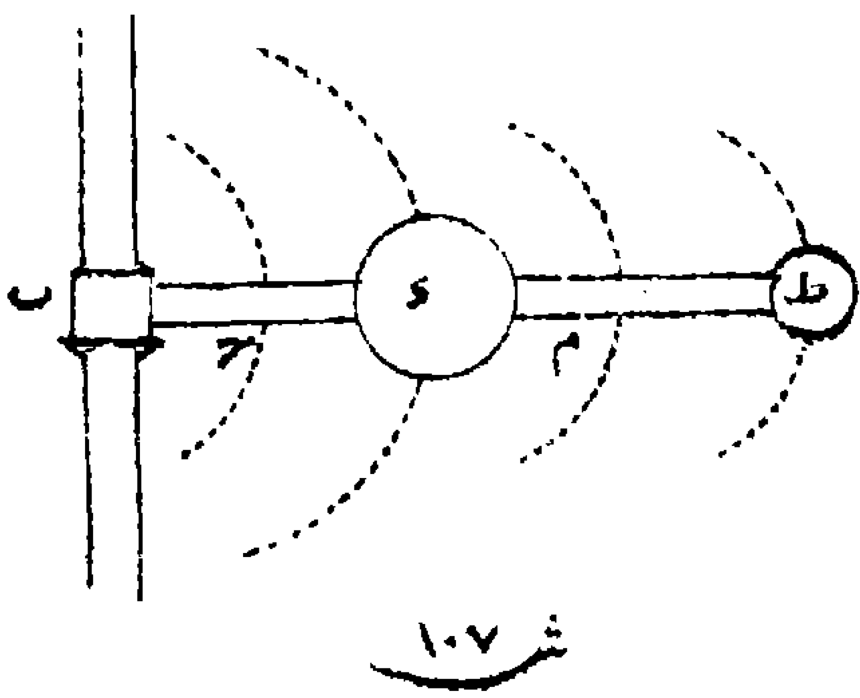
ويرتفع الثقل ح بمسافة الفرق بين ءط + طب ، ب ء
أعنى ٢٠ + ٢٠ ، ٣٩٫٩٥ سنتيمتر = ٠٫٠٥ سنتيمتر اعنى ٠٫٠٠٠٥ متر
وفى هذا الوقت تحرك القوة ع من ط الى ـد أعنى ١ سنتيمتر
أو ٠٫٠١ متر وشغل ع = ٢٠٠ × ٠٫٠١ = ٢
والشغل المحمول بالثقل ح = ٠٫٠٠٠٥ × ح وعلى ذلك يكون

٢ = ٠٫٠٠٠٥ × ح ومنه

ح = ٤٠٠٠ كيلوجرام

كيفية حساب وحدات الشغل بالنسبة لجسم دائر حول محور

اذا كانت ء ، ط كرتين مثبتتين فى يد ب ط كما فى شكل ١٠٧ تدور حول عمود ب وان ثقل ء = ٥٠ كيلوجرام وثقل ط = ٢٠ كيلوجرام ، ب ء = ٤ متر ، ب ط = ٩ متر فما هى وحدات شغل الكرتين المذكورتين عندما تكون سرعة النقط ـد المتباعدة عن محور الدوران ب بمسافة ١٫٠٠ متر هى ٦٫٠٠ متر فى الثانية وما هو بعد النقطة التى يعتبر تجمع مادة الجملة فيها عن محور الدوران أى نصف قطر المقصور أعنى ما هى النقطة م على اليد التى يمكن اعتبار ثقلى الكرتين مربوطين فيها بدون تغيير فى وحدات شغل بالنسبة لوضعهما الأصلى



شـ ١٠٧

ج - سرعة ء = ٦ × $\frac{٤}{١}$ = ٢٤ متر فى الثانية وسرعة ط = ٦ $\frac{٩}{١}$ = ٥٤ متر فى الثانية

وحدات شغل ء = $\frac{٢٤^{٢} \times ٥٠}{٩٫٧٩ \times ٢}$ = ١٤٧١

وحدات شغل ط = $\frac{٥٤^{٢} \times ٢٠}{٩٫٧٩ \times ٢}$ = ٢٩٧٩

ومجموع الوحدات = ٤٤٥٠

اذا فرض ان ص = المسافة ب م أعنى المسافة من المحور ب الى النقطة م التى يعتبر تجمع مادة الجملة فيها

فوحدات الشغل = $\frac{(٥٠ + ٢٠)(٦ص)^{٢}}{٩٫٧٩ \times ٢}$ = ١٢٨ $ص^{٢}$ وعلى ذلك يكون

١٢٨ $ص^{٢}$ = ٤٤٥٠ أو $ص^{٢}$ = ٣٥ ومنه

ص = ٥٫٩ متر وهو المطلوب

فاذا ربطت

فاذا ربطت الكرتين معا فى نقطة م وكان سم = ٥١٩ متر فوحدات شغل الكرتين فى هذه النقطة كوحدات شغلها فى موضعها الأصلى

ويظهر من هذا التمرين أنه يلزم لأيجاد مركز دوران جملة اجسام متفرقة اجراء الحساب بالتفاضل والتكامل (وهذه الحسابات موجودة فى الكتب) وللسهولة قد استعملنا هنا الحسابات فى الاشغال الاعتيادية بدون دخل للتفاضل والتكامل

المسافة بين مركز دوران سطح دائرة منتظم ومركز هذا السطح = نصف القطر × $\sqrt{\frac{1}{2}}$ وهذا المثال ينطبق على حجر الطاحون

المسافة بين مركز الدوران ومركز دائرة العجلات التى سمك محيطها رفيع جدا = نصف قطرها وفى الطارات الكبيرة للوابورات والعجلات التى محيطها سميك

وبفرض ان $ح$ = نصف قطر المحيط الخارجى للطاره ، $ح'$ = نصف قطر المحيط الداخلى لها فالمسافة بين مركز الدوران ومركز العجلة أو الطارة = $\sqrt{\frac{ح^2 + ح'^2}{2}}$

وفى الكرة المجسمة التى تدور حول قطرها المسافة بين مركز الدوران ومركز الكرة = نصف القطر × ٠٫٦٣٢

مركز دوران كرة مربوطة بحبل ودائرة على محور خارج عنها بفرض ك هى المسافة بين مركز الكرة ومحور الدوران ، ح نصف قطر الكرة فالمسافة بين مركز الدوران والمحور = $\sqrt{ك^2 + ٠٫٤ \times ح^2}$

اذا كان قضيب يدور على أحد طرفيه فى مستويه فالمسافة بين مركز دورانه والطرف المثبت = طول القضيب × $\sqrt{\frac{1}{3}}$

واذا كان محور القضيب فى وسطه فالمسافة بينه وبين مركز دوران القضيب = طوله فى $\sqrt{\frac{1}{12}}$

تمرين سبعه واربعين ـ س ـ اذا كان وزن طارة وابور = ٤٠٠٠ كيلوجرام والمسافة بين مركز الطارة ومركز الدوران = ٢٫٠٠ متر وقطر عمود الطارة = ٠٫٢ متر وعدد لفات الطارة فى الدقيقة = ٢٧ فما مقدار عدد اللفات التى تقطعها الطارة الى ان تقف بنفسها بعد منع القوة عنها اذا كان معامل الاحتكاك = $\frac{1}{5}$

ج ـ سرعة مركز الدوران = $\frac{٢ \times ٣٫١٤ \times ٢ \times ٢٧}{٦٠}$ = ٥٫٦٥ متر فى الثانية

ووحدات شغل الطارة = $\frac{٥٫٦٥^2 \times ٤٠٠٠}{٢ \times ٩٫٧٩}$ = ١٤٦٩٠ وحدات شغل

ومحيط عمود الطارة = ٠٫٢ × ٣٫١٤ = ٠٫٦٢٨ متر

فاذا فرض ان ص = عدد لفات الطارة فالشغل المفقود بالاحتكاك فى ص لفات =

٠٫٦٢٨ × ص × $\frac{٤٠٠٠}{٥}$ = ٥٠٢ ص وعليه يكون

٥٠٢ ص = ١٤٦٩٠ أو

ص = ٢٩٫٣ لفات

تمرين ثمانيه واربعين ـ س ـ وزن طارة = ١٥٠٠ كيلوجرام والمسافة بين المحور ومركز الدوران

تساوى ٣ر٠٠ وعدد لفات الطارة فى الدقيقة = ٢٧
فما مقدار عدد الدقات التى يمكن للطارة المذكورة أن تعطيها لمرزبتين وزن كل منهما ١٢٥ كيلوجرام وترتفع وتنزل على مسافة ١ر٠٠ متر بصرف النظر عن الاحتكاك

ج - سرعة مركز الدوران = $\frac{٢ \times ٣ \times ٣ر١٤ \times ٢٧}{٦٠}$ = ٨ر٤٨ متر فى الثانية ووحدات شغل الطارة = $\frac{١٥٠٠ \times \overline{٨ر٤٨}^{٢}}{٢ \times ٩ر٧٩}$ = ٥٥٠٩ وحدات شغل

اذا رمز بالحرف ص لعدد مرات دق المرزبتين فوحدات شغل المرزبتين = ٢×١٢٥×١×ص = ٢٥٠ص وحدات شغل

وحينئذ ٢٥٠ص = ٥٥٠٩ ومنه ص = ٢٢ مرات دق

تمرين تسعة وأربعين - س - قطر حجر طاحونة = ١ر٨ متر ووزنه = ١٧٠ كيلوجرام ومحيطه يلف بسرعة ٢ر٠٠ متر فى الثانية ومحيط العمود = ٠ر٢٠ متر ومعامل الاحتكاك = $\frac{١}{٧}$ فما مقدار عدد اللفات حتى يقف الحجر بنفسه متى منعت عنه القوة

ج - المسافة بين مركز الدوران والمحيط = نصف القطر × $\sqrt{\frac{١}{٢}}$ = ٠ر٩ × $\sqrt{\frac{١}{٢}}$ = $\frac{٠ر٩٠}{\sqrt{٢}}$
ولايجاد سرعة مركز الدوران نقول من المعلوم انها مناسبة لسرعة دوران المحيط الذى نصف قطره = ٠ر٩٠ فاذا رمز لسرعة مركز الدوران بحرف س يحدث التناسب الآتى

٠ر٩ : ٢ :: $\frac{٠ر٩}{\sqrt{٢}}$: س ومنه

س = $\sqrt{٢}$

ووحدات شغل الحجر = $\frac{١٧٠ \times (\sqrt{٢})^{٢}}{٢ \times ٩ر٧٩}$ = ١٧ر٤ وحدات شغل
اذا كان ص عدد اللفات لحدوث وقوف الحجر بنفسه فالشغل المفقود بالاحتكاك فى ص لفات = $\frac{١٧٠}{٧}$ × ٠ر٢٠ × ص وحدات شغل وعلى هذا يكون

$\frac{١٧٠}{٧}$ × ٠ر٢٠ × ص = ١٧ر٤ ومنه

ص = ٤ لفات وهو المطلوب

تمرين خمسين - س - ماهى وحدات شغل المرزبة المذكورة سابقا بتمرين ٤٢

ج - وزن المرزبة = ١٥ كيلوجرام وسرعتها = ١٢ متر فى الثانية

فوحدات الشغل = $\frac{١٥ \times ١٤٤}{٢ \times ٩ر٧٩}$ = ١١٠ر٣ وحدات شغل فى الدقة الواحدة بالمندالة ووحدات الشغل فى عشرين دقة بالمندالة المذكورة = ٢٠ × ١١٠ر٣ = ٢٢٠٦ر٠ وهو عين الناتج فى تمرين ٣١ السابق ذكره

دفع القوة وكمية التحرك - معلوم بالتجربة وبالبداهة انه اذا تصادم جسمان فالقوة تكون متعلقة بدرجة سرعة التصادم وزمن التصاق الجسمين ببعض

مثلا جاكوش يضرب كورة من صلب فزمن الالتصاق هو قليل والجسم يقطع مسافة بعيدة واذا ضرب

ضرب هذا الجاكوش كورة من صوف فزمن الالتصاق يكون اكبر والجسم يقطع مسافة قليلة
اذا كان قوتين ع ، عَ يؤثران بالدق على جسم بالتعاقب ويكسبان الجسم سرعتين س ، سَ في الزمن ز يكون

ع : عَ :: س : سَ ..... (٦)

ويكفي لحل هذا التناسب ان نعلم احدى القوتين مع سرعتها
وبسبب معلومية قوانين سقوط الاجسام يمكن ايجاد القوة الأخرى وسرعتها اذا كانت سَ هي سرعة الثاقل في الزمن ز يكون

سَ = ز جـ من قانون (٢)

فاذا وضعنا في (٦) الوزن ح للجسم بدلا عن القوة عَ ، ز جـ بدلا عن سَ يكون

ع : ح :: س : ز جـ

ومنه ع = (ح × س)/(ز جـ) = ح/جـ × س/ز .. (٧)

وبسبب ان الثاقل متغير وان ح/جـ التي هي بجسم الجسم هي كمية ثابتة في جميع الجهات فلو رمزنا لهذه النسبة بالحرف ل ووضع بدلها في قانون (٧) يكون

ع = ل × س/ز (٨) أو

ع × ز = ل × س (٨)

ويظهر من هذا أنه اذا نقص مقدار ز بالتدريج فمقدار ع يكبر بكثير

تمرين واحد وخمسين - س - ما هي كمية التحرك المعطية من بارود سرعته في الثانية ٥٠٠ متر لجلة مدفع وزنها ١٥ كيلوجرام

ج - من قانون (٨) ع ز = ل س

ل = ح/جـ = ١٥/٩,٧٩ = ١,٥٢ فبهذا السبب يكون

ع ز = ١,٥٢٦ × ٥٠٠ = ٧٦٥ كيلوجرام

ثم نجعل ز على التوالي مساويا ١ ، ٠,٥ ، ٠,١ ، ٠,٠١

فمقدار ع = ٧٦٥ ، ١٥٢٠ ، ٧٦٥٠ ، ٧٦٥٠٠ كيلوجرام

أعني كلما قصر الزمن كبرت القوة أي أن القوة في المبدأ تكون كبيرة جدا وتنقص بالتدريج كلما زاد الزمن

تمرين اثنين وخمسين - س - اذا كان حصانان يبتدئان بشد عربة وزنها ٣٩٣٢ كيلوجرام بسرعة ١٠ كيلومتر في الساعة فما هي القوة المطلوبة من الخيل لاجل ان تبتدئ بالشد في زمن قدره ثانيتين

ج - ل = ح/جـ = ٣٩٢٢/٩,٧٩ = ٤٠٢ كيلوجرام

و ١٠ كيلومتر في الساعة = ٢,٨٠ متر في الثانية

ومن قانون (٨) نجد ان ع = ك × $\frac{س}{ز}$ = ٤٠٢ × $\frac{٢٫٨}{٢}$ = ٥٦٢ كيلوجرام وهنا نعرف النظر عن احتكاك العجل على الأرض وبما أن معامل الاحتكاك فى السكة المعمولة بالمكدام = $\frac{١}{٢٤}$
فيكون مقدار الاحتكاك $\frac{٢٩٢٢}{٢٤}$ = ١٢١٫٠
وعلى ذلك القوة المطلوبة من الحصانين لهذا الحمل = ٥٦٢ + ١٢١ = ٦٩٤
ولكل حصان ٣٤٧ كيلوجرام

ويظهر من هذا أنه لاجل اعطاء السرعة المطلوبة فى الثانيتين الأول من زمن الشد يلزم من كل حصان قوة قدرها ٣٤٧ كيلوجرام وهذه القوة = ١٨ مرة القوة المقدرة للحصان كما فى قانون (١) وهذا هو السبب فى حصول الخسائر التى تقع فى مبدأ سير العربات باتلاف الطقم أو ضرر الخيل خصوصا اذا جبرها السائق ان تسير بسرعة من مبدأ الأمر

تمرين ثلاثة وخمسين - س - چاكوش ع وزنه ٥ كيلوجرام وسرعته ٣ متر فى الثانية يدق على مسمار ح شكل ١٠٨ والدقة الواحدة تنزل المسمار فى الخشب بقدر $\frac{١}{٢}$ سنتيمتر فما هى قوة الدق

ج - بسبب ان المسمار ينزل $\frac{١}{٢}$ سنتيمتر فى المدة التى فيها الچاكوش يقطع ٣ متر يحدث

٣ متر : أ :: $\frac{١}{٢}$ سنتيمتر : $\frac{١}{٦٠٠}$

فبهذا السبب الزمن اللازم لنزول المسمار لا يمكن ان يكون أقل من $\frac{أ}{٦٠٠}$

وحسب ما تقدم ك = $\frac{ح}{ج}$ = $\frac{٥}{٩٫٧٩}$ = ٠٫٥١

ومن قانون (٨) ع = ك × $\frac{س}{ز}$ = ٠٫٥١ × $\frac{٣}{\frac{١}{٦٠٠}}$ = ٩١٨ كيلوجرام

ش ١٠٨

يظهر من ذلك ان القوة فى كل دقة هى مناسبة لزمن الالتصاق كما قلنا سابقا

تمرين اربعة وخمسين - س - ماهو عدد الانفار اللازمة لتشغيل طلمبة حريق اذا كان مقدار شغل النفر الواحد من وحدات الشغل = ٥٫٦٠ وكان فم الخرطوم = ٤ سنتيمتر مربع وتصرف المياه نصف متر مكعب فى الدقيقة

ج - التصرف فى الثانية = $\frac{٠٫٥}{٦٠}$ متر مكعب

والسرعة فى الثانية = $\frac{٠٫٥}{٦٠}$ × $\frac{١}{٠٫٠٠٠٤}$ = ٢٠٫٨ متر فى الثانية

ووزن الماء فى الثانية = $\frac{٠٫٥}{٦٠}$ × ١٠٠٠ = $\frac{٥٠}{٦}$ كيلوجرام

ووحدات الشغل فى الثانية = $\frac{٥٠}{٦}$ × $\frac{(٢٠٫٨)^{٢}}{٩٫٧٩ \times ٢}$ = ١٨٤٫٨

وعدد الانفار اللازمة = $\frac{١٨٤٫٨}{٥٫٦}$ = ٣٣ نفرا

تمرين خمسة وخمسين - س - مندالة وزنها ٥٠٠ كيلوجرام تنزل من ارتفاع ٨ متر على رأس خازوق

خازوق وهو ينزل فى الارض ١٠ سنتيمتر فى الدقة الواحدة فما تكون القوة على رأس الخازوق

ج - اذا كان س = سرعة المندالة فى وقت الدق يكون

س٢ ÷ (٢ × ٩ر٧٩) = ٨ متر أو س٢ = ١٥٦ر٦٤

أو س = ١٢ر٥٠ متر فى الثانية

وبسبب ان سرعة المندالة هى ١٢ر٥٠ فى الثانيه والمسافة التى ينزلها الخازوق فى الدقة الواحدة = ١٠ سنتيمتر فالزمن الذى يقطعه الخازوق لنزول هذه المسافة لا يمكن ان يكون أقل من ٠ر١٠ ÷ ١٢ر٥ = ١ ÷ ١٢٥

والجسم ك = ٥٠٠ ÷ ٩ر٧٩ = ٥١ر٠

كيلوجرام

ومن قانون (٨) نجد ع = ك × س ÷ ز = ٥١ر٠ × ١٢ر٥ ÷ (١ ÷ ١٢٥) = ٥١ر٠ × ١٢ر٥ × ١٢٥ = ٧٩٦٨٧ر٥

تمرين ستة وخمسين - س - عربة تزن ٥٠٠٠٠ كيلوجرام تنزل على مستوى مائل طوله ١٢٠٠ متر وارتفاعه ١٧٠ متر فما مقدار سرعة نزول العربة عليه فى نهاية المستوى اذا كان معامل الاحتكاك = ١ ÷ ٢٠٠

ج - شغل التثاقل = ٥٠٠٠٠ × ١٧٠ = ٨٥٠٠٠٠٠ وحدات شغل

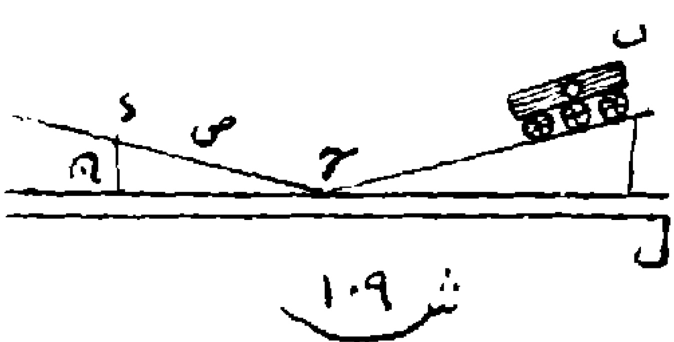
وشغل الاحتكاك = ٥٠٠٠٠ ÷ ٢٠٠ × ١٢٠٠ = ٣٠٠٠٠٠ وحدات شغل

ووحدات شغل العربة فى نهاية المستوى المائل = ٨٥٠٠٠٠٠ − ٣٠٠٠٠٠ = ٨٢٠٠٠٠٠ فاذا فرضنا أن س = السرعة يكون ٥٠٠٠٠ × س٢ ÷ (٢ × ٩ر٧٩) = ٨٢٠٠٠٠٠ أو

س٢ = ٣٢٥٠ ومنه

س = ٥٧ متر فى الثانيه وهو المطلوب {السرعة هنا هى سرعة العربة فى نهاية النزول}

تمرين سبعه وخمسين - س - عربات وزنها ٣٠٠٠٠ كيلوجرام تنزل على مستوى مائل ب حـ شكل ١٠٩ طوله ٣٠٠ متر وارتفاع الميل ب ل = ٣٠ر٠٠ متر ثم تطلع العربات بنفسها على مستوى مائل آخر حـ ء ميله ١ ÷ ٣٠ فما هى المسافة التى تقطعها العربات على الميل حـ ء صعودا بقوتها بعد نزولها من المستوى الأول لحد وقوفها عليه قبل رجوعها ثانى مرة وما هى سرعة العربات حين رجوعها الى حـ اذا كان معامل الاحتكاك = ١ ÷ ٢٠٠



ش ١٠٩

ج - وحدات شغل العربات فى نزولها من ب الى حـ = وحدات شغل قوة التثاقل ناقص وحدات شغل الاحتكاك = ٣٠٠٠٠ × ٣٠ − ٣٠٠٠٠ ÷ ٢٠٠ × ٣٠٠ = ٩٠٠٠٠٠ − ٤٥٠٠٠ = ٨٥٥٠٠٠ وحدات شغل

اما فرض ص = حـ ء = المسافة التى تقطعها العربات على المستوى الصاعد فالارتفاع ء هـ = ص ÷ ٣٠

وفى صعود العربات التثاقل والاحتكاك يكونان معا مضادين للقوة

فحينئذ القوة المضادة = ٣٠٠٠٠ × ص ÷ ٣٠ + ٣٠٠٠٠ ÷ ٢٠٠ × ص وهذا = وحدات شغل العربات أعنى = ٨٥٥٠٠٠ أعنى ان ١١٥٠ ص = ٨٥٥٠٠٠ ومنه ص = ٧٤٣ متر ا ص ÷ ٣٠ = ٢٤ر٧٧ متر

وحينئذ تنزل العربات مرة ثانية لحد ح فوحدات شغل العربات لرجوعها الى ح = وحدات شغل الجذب ناقصا وحدات شغل الاحتكاك = ٢٠٠٠٠ × ٥ر١ - $\frac{٢٠٠٠٠}{٤٠٠}$ × ٢٠ = ٢٨٠٠٠

واذا كان صَ = السرعة حالة رجوع العربات بالثانى الى ح يكون $\frac{٢٠٠٠٠ \text{ صَ}^٢}{٢ \times ٩ر٧٩}$ = ٢٨٠٠٠

أو صَ٢ = ٤١ر٢٧ ومنه

صَ = ٥ر٢٠ متر فى الثانية

تمرين ثمانية وخمسين - س - وزن طارة وابور = ١٠٠٠ كيلوجرام ومركز دورانها يرسم دائرة محيطها ١٠ متر ومحيط عمود الطارة = ٠ر٣٠ متر ويلف ٣٠ مرة فى الدقيقة وبعد انقطاع البخار الطارة تلف ٤٨ لفة لحد وقوفها بنفسها فما هو مقدار معامل الاحتكاك

ج - نفرض أن س = سرعة مركز الدوران = $\frac{٣٠ \times ١٠}{٦٠}$ = ٥ر٠٠ متر فى الثانية وحينئذ وحدات شغل الطارة = $\frac{١٠٠٠ \times ٥^٢}{٢ \times ٩ر٧٩}$ = ١٢٧٧ وحدات شغل

ومحيط العمود = ٠ر٣٠

وطول مسافة التماس فى ٤٨ لفة للعمود = ٤٨ × ٠ر٣٠ = ١٤ر٤٠ متر

فاذا جعل ق معامل الاحتكاك فيكون ق × ١٠٠٠ × ١٤ر٤٠ = وحدات شغل القوة المضادة وهى تساوى وحدات شغل الطارة نفسها وعلى ذلك يكون

ق × ١٠٠٠ × ١٤ر٤٠ = ١٢٧٧ ومنه

ق = $\frac{١٢٧٧}{١٤٤٠٠}$ = $\frac{١}{١١}$ تقريبا وهو معامل الاحتكاك



والى هنا تم بعون الله طبع الجزء الثانى من دروس مقاومة المواد الجارى تدريسه لتلامذة السنة الثالثة من مدرسة المهندسخانه الخديوية

وعلى الله حسن التوكل والختام

ESEN-CPS-BK-0000000609-ESE

436104